

ANNALEN
DER
PHYSIK UND CHEMIE.

BAND CIX.

ANALYSE

DE

PHYSIK UND CHEMIE

VON R. B. GIL

ANNALEN

DER

P H Y S I K

UND

C H E M I E.

VIERTE REIHE.

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

J. C. POGGENDORFF.

NEUNZEHNTER BAND.

NEBST DREI KUPFERTAFELN UND EINER STEINDRUCKTAFEL.

LEIPZIG, 1860.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIOUS BARTH.



S

ach

ch

ga

die

Na

ter

un

de

zu

ter

ich

G

P

B

In

g

sc

de

A

1

2

I. *Ueber die chemische Harmonika;*
von Dr. Sondhaufs,

Director d. Realschule zu Neisse.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. Progrm. dieser Schule.)

Seit der im Jahre 1777 von Higgins gemachten Beobachtung, daß ein Ton entsteht, wenn man über das Flämmchen des aus einer engern Röhre strömenden Wasserstoffgases ein weiteres Rohr oder einen Glaskolben stülpt, ist dieser interessante Versuch, dessen einfacher Apparat den Namen der chemischen Harmonika erhalten hat, ein beliebter Kollegien-Versuch geworden, der von allen Physikern und Chemikern unendlich oft wiederholt worden ist. In der der Entdeckung dieser eigenthümlichen Tonerzeugung zunächstliegenden Zeit ist dieselbe auch mehrfach einer Untersuchung gewürdigt worden; namentlich haben sich, wie ich aus Muncke's Bearbeitung des bezüglichen Artikels in Gehler's physikalischem Wörterbuche ersehe, Mussin Puschkin, Scherer, Chladni, de la Rive, Pictet, Brugnatelli, Zenneck und Faraday damit beschäftigt. In neuester Zeit ist durch die Beobachtungen von Schaffgotsch¹⁾ das Interesse für die Erscheinungen der chemischen Harmonika wieder lebhaft erregt und von Tyndall derselbe Gegenstand studirt und dessen Kenntnifs durch die Angabe einer Reihe schöner Versuche bereichert worden²⁾.

1) Diese Ann. d. Physik u. Chemie, Bd. C, S. 352 u. Bd. CI, S. 471.

2) Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie, Physik etc. von Herm. Kopp und Heinr. Will. 1857, S. 100. Ich kenne von Tyndall's Arbeit nur, was in dem Referate des Jahresberichts angegeben ist, hoffe Poggenдорff's Annal. Bd. CIX.

Trotz der vielfachen Wiederholung des Versuchs und der von den bewährten Forschern angestellten Untersuchungen sind vielleicht gerade wegen der außerordentlichen Einfachheit des Apparats und wegen des sichern Gelingens des leichten Experiments die bei der Erscheinung stattfindenden Umstände noch nicht vollständig in Betracht gezogen worden, insbesondere sind die Bedingungen, unter welchen der Ton der Harmonika ausbleibt, noch nicht ermittelt. Die wichtigsten Resultate, welche sich aus den bisherigen Untersuchungen ergeben haben, dürften in Kürze die folgenden seyn:

1. Nach Faraday ist die Flamme des Wasserstoffgases zur Erzeugung des Tons der chemischen Harmonika am geeignetsten, aber auch andere rasch verbrennende Gase oder Dämpfe, z. B. Kohlenoxydgas etc., rufen die Erscheinung hervor.

2. Der durch die Flammen in Oscillation versetzte tönende Körper ist, nach Chladni, nicht das Gefäß oder die Röhre, worin die Flamme brennt, sondern die darin enthaltene Luftsäule, welche wie in einer Pfeife nach den bekannten Schwingungsgesetzen oscillirt und denselben Ton erzeugt, welcher durch Anblasen des Gefäßes oder der Röhre erhalten wird.

3. Die Entstehung des Tons der chemischen Harmonika ist, wie aus den interessanten Versuchen von Schaffgotsch folgt, mit Oscillationen der Flamme verbunden, welche den Gasausfluß verzögern; und Lufterschütterungen oder geeignete Schwingungen, welche von einer anderweitigen Schallquelle herrühren, haben auf die Erregung oder Verstärkung der Oscillationen der Flamme solchen Einfluß, daß sie dieselben zugleich mit dem Tone der Harmonika

jedoch, daß meine Arbeit nicht überflüssig geworden ist. [Zu den neuern Arbeiten über diese Gegenstände gehören auch noch die Aufsätze des Hr. Prof. Schrötter (Sitzungsberichte d. Wien. Akad. Bd. XXIV (1857) S. 18), der HH. J. Grailich und E. Weiss (Ebendasselbst Bd. XXIX (1858) S. 271, u. der HH. G. Peterin u. E. Weiss (Ebendasselbst Bd. XXXII. (1858) S. 68. — (P.)].

hervorrufen oder so heftig machen, das die Flamme in vielen Fällen erlischt.

Ich habe mich seit der Zeit, wo ich anfang, mich mit Physik zu beschäftigen, für die Erscheinungen der chemischen Harmonika interessirt, und mich hauptsächlich bemüht, einen Zusammenhang zwischen dieser räthselhaften Tonerzeugung und den übrigen bekannten Mitteln zu finden, wodurch Töne hervorgerufen werden. Die zu diesem Zwecke von Zeit zu Zeit angestellten Versuche, welche leider von andern Geschäften und Arbeiten immer zurückgestellt und unterbrochen wurden, führten allerdings zu mehreren Beobachtungen, welche für die Erklärung der Erscheinung erheblich zu seyn schienen; doch verschob ich die Veröffentlichung derselben, da ich erst den Zusammenhang zwischen den einzelnen Thatsachen finden und, nach dem Abschlusse der Untersuchung, in zusammenhängender Darstellung wo möglich das Räthsel des Phänomens lösen wollte. Bei dem neuerdings für den Gegenstand erwachten Interesse glaube ich jedoch mit der Veröffentlichung meiner Untersuchung, so weit dieselbe bei der letzten Wiederaufnahme der Versuche gediehen ist, nicht länger zögern zu dürfen, weil mir sonst das Vergnügen, zur Erklärung der in Rede stehenden Erscheinung einen Beitrag zu liefern, leicht entzogen werden könnte.

1. Die Einrichtung meines Apparats und zum Theil auch der Verlauf meiner Versuche war durch den Umstand bedingt, daß mir Steinkohlen - Gas nicht zur Disposition stand. Ich wendete daher, wie es vor Einrichtung der Gasbereitungs-Anstalten zur Straßenbeleuchtung allgemein geschah, zur Construction der chemischen Harmonika Wasserstoff bei meiner Untersuchung an, und habe nur der Vergleichung wegen einige Versuche mit andern Gasen angestellt. Die Einrichtung des Apparats war demnach bei den meisten Versuchen im Wesentlichen die von den ersten Beobachtern der Erscheinung getroffene. Das Gas wurde in Flaschen von verschiedener Größe und Gestalt aus Zink und verdünnter Schwefelsäure entwickelt und durch engere

Röhren, welche mit passenden Korken auf den Hals der Flaschen gesetzt wurden, ins Freie geleitet. Ueber die Flamme des aus dem Ausflusrohr oder Brennröhre tretenden Gases wurden die zur Tonerzeugung erforderlichen Röhren aus freier Hand gehalten. In der Regel war ein Trichterrohr durch den Kork bis auf den Boden der Flasche hinab geführt, durch welches von Zeit zu Zeit das zur Unterhaltung oder Beschleunigung der Gasentwicklung erforderliche Quantum Schwefelsäure nachgegossen wurde. In Fig. 2, Taf. I ist ein solcher Apparat dargestellt. Ich habe sehr große und auch kleine Gasentwicklungs-Flaschen bis zu 54 Cubik - Centimeter Inhalt herab angewendet. Die besten Dienste hat mir eine dreihalsige Woulfe'sche Flasche von ungefähr 1600 Cubik - Centimeter Inhalt geleistet; der eine Hals trug die Trichterröhre, in die beiden andern wurden mit passenden Korken zwei Ausflusröhren gesetzt, so daß ich zwei Gasflämmchen zu gleicher Zeit oder abwechselnd benutzen und ihr Verhalten bei der Erzeugung des Tons der Harmonika unter übrigens gleichen Umständen vergleichen konnte. Wollte ich bloß mit einer Flamme experimentiren, so stülpte ich über das Ausflusrohr der andern ein kurzes Gummirohr, dessen oberes Ende durch eine zugeschmolzene kurze Glasröhre verstopft war.

Es dürfte hier der geeignetste Ort für ein Paar Bemerkungen über das Verhalten von zwei solchen combinirten Flammen seyn. Hält man über jede derselben eine Röhre, so entstehen zwei im Allgemeinen von einander unabhängige Töne, die je nach den Dimensionen der Röhren gleich oder verschieden sind; ¹⁾ wird bloß eine von den Flammen

- 1) Es dürfte diese Einrichtung zur Darstellung des Tartinischen Tons bei physikalischen Vorträgen zu empfehlen seyn. Ich habe diesen Combinationston nie so deutlich gehört als bei meinen jetzigen Versuchen, wenn ich zwei Röhren, deren Töne um eine Terz, Quarte oder Quinte von einander entfernt waren, über die beiden Flammen hielt. Auch das unter dem Namen der Schwebungen bekannte Zusammenwirken der Schallwellen von etwas verschiedener Geschwindigkeit zeigte sich sehr schön, wenn ich Röhren, die um einen halben Ton oder darunter verschieden waren, über die beiden Flammen hielt.

zur Erzeugung des Tons in einer Röhre benutzt, während die andere frei brennt, so wird diese in dem Augenblicke, wo der Ton anspricht, jedesmal merklich gröfser, und schwindet, wenn man den Ton aufhören läfst, wieder auf die frühere Ausdehnung zusammen. Eine andere Bewegung als die mit der Veränderung der Gröfse verbundene habe ich an dieser freien Flamme nie bemerkt, namentlich habe ich unter den angegebenen Umständen nie eine Oscillation derselben, welche mit einer Gestaltsveränderung oder mit einem selbstständigen Tönen ¹⁾ verbunden gewesen wäre, beobachtet. Von diesem Verhalten der Wasserstoff-Flammen, auf welches ich bei meiner Einrichtung des Apparats sehr bald aufmerksam werden mußte, schlofs ich auf eine während des Tönens eintretende Verzögerung des Gasausflusses aus der anderen Röhre, welche nur durch die Oscillation, nicht blofs der Flamme, sondern der ganzen in dem Ausflufsrohre enthaltenen Gassäule herbeigeführt werden konnte. Diese Ansicht, welche mich bei meiner weitem Untersuchung leitete, ist seit der Zeit durch die von Schaffgotsch bekannt gemachten Versuche bestätigt worden, welche mit viel eleganteren Apparaten über das Verhalten der Flammen des Steinkohlen-Gases angestellt worden sind.

Die Geschwindigkeit, mit welcher das Gas aus den beiden in die Hälse der Gasentwicklungsflasche gesetzten Röhren fließt, ist, wie man nach der Gröfse der Flammen urtheilen kann, selten vollkommen gleich. Nur wenn die beiden Ausflufsrohren von gleicher Länge oder Weite sind, halten sich die beiden Gassäulen oder Gasströme dem Widerstande der Luft gegenüber das Gleichgewicht und bilden gleiche Flammen; aber selbst in diesem Falle begünstigt bei mäfsiger Gasentwicklung die durch das Anzünden des einen Gasstroms entstandene Temperaturerhöhung die Ausflufs-Geschwindigkeit desselben in dem Grade, dafs aus der andern Röhre manchmal kein Gas ausfließt. Haben die Ausflufsrohren verschiedene Länge, oder ist ihre Mündung nicht

1) Die Wasserstoff-Flammen tönen manchmal, ohne dafs eine Röhre über sie gehalten wird.

gleich weit, so sind auch ihre Flammen ungleich; und wird die Gasentwicklung schwächer, so erlischt die kleinere Flamme, welche sich an dem kürzern, respective dem engeren Ausflusrohr befindet, während die andere Flamme lebhaft fortbrennt, ja sogar etwas größer wird. Es fließt jetzt nur noch aus dem einen Rohre Gas aus, während durch das andere Luft in die Flasche hinab sinkt, wie sich daraus ergibt, daß die noch fortbrennende Flamme jedesmal augenblicklich kleiner wird, wenn man die Mündung des andern Rohrs mit dem Finger verschließt, und wieder wächst, wenn man den Finger wegnimmt. Man darf daher nach dem Erlöschen der einen Flamme die andere bei derselben langsamen Gasentwicklung nicht zu lange fortbrennen lassen, ohne das nicht gebrauchte Ausflusrohr zu verschließen, weil das Eindringen der Luft eine Störung der Versuche herbeiführt. Eine Explosion ist übrigens nicht leicht zu fürchten, da eine stärkere Mischung des Gases mit Luft, bevor sie gefährlich wird, sich vorher durch einen singenden Ton verräth, den die Flamme erzeugt, ohne daß eine Röhre über dieselbe gehalten wird. Zuletzt erlischt die Flamme in der Regel von selbst, ohne daß eine Explosion erfolgt; dieselbe tritt aber ein, wenn man jetzt die Flamme wieder anzündet.

Eine solche Woulfe'sche Flasche reicht bei den meisten mit Wasserstoffgas anzustellenden Versuchen aus. In den Fällen, wo die Ausströmung des Gases nach Belieben rasch regulirt werden mußte, und zu Experimenten mit einigen anderen brennbaren Gasen habe ich einen gasometerähnlichen Apparat benutzt, welcher zu dem vorliegenden Zwecke geeigneter als die gebräuchlichen Gasometer zu seyn scheint. Er besteht (Fig. 1, Taf. I) aus einer mit zwei Hälsen versehenen 20^{cm} hohen und 13^{cm} weiten gläsernen Flasche A von ungefähr 2300 Cubik-Centimeter Inhalt und einem auf einem 36^{cm} hohen dreibeinigen Schemel stehenden Wasser-Reservoir B. Der eine in der Mitte befindliche Hals der zur Aufnahme des Gases bestimmten Flasche trägt das bei den beabsichtigten Experimenten anzuwendende Ausflus-

rohr *CC*; in den andern Hals sind mittelst eines zweimal durchbohrten Pfropfens zwei Röhren eingesetzt. Die eine derselben *dd*, welche unter dem Pfropf nur wenig hervorragt und über demselben nach der Seite gebogen ist, dient als Gaszuleitungsrohr und wird durch ein Gummirohr mit dem Gasentwicklungs-Apparate verbunden; die andere *eee* geht senkrecht bis auf den Boden der Flasche hinab und ist bestimmt, nicht nur beim Einfüllen des Gases durch eine Hebereinrichtung das Wasser aus der Flasche zu entfernen, sondern auch während der mit der Flamme anzustellenden Experimente das zum Austreiben des Gases nothwendige Wasser aus dem höher stehenden Behälter in die Flasche fließen zu lassen. Um beide Zwecke bequem zu erreichen, ist die senkrechte über den Pfropf etwa 5^{cm} hervorragende Röhre mit einer rechtwinklig angesetzten Seitenröhre *f* von 5^{cm} Länge versehen, an welche durch eine Gummiröhre eine am untern Ende aufwärtsgebogene Glasröhre *g*, der zweite Schenkel des Hebers angefügt ist. Das obere Ende der senkrechten Röhre wird mit dem Ausflusrohr des Wasserbehälters ebenfalls durch eine Kautschukröhre *hh* in Verbindung gesetzt. Der Zufluss oder Abfluss des Wassers wird mit zwei Quetschhähnen *i* und *k* regulirt, welche an den Kautschukröhren angebracht sind.

Die Versuche gehen mit diesem Apparate sehr bequem und sicher von Statten. Ist die Flasche sowie das Heberrohr mit Wasser gefüllt und der weitere Wasserzufluss durch den Quetschhahn abgeschnitten, so wird der Gasentwicklungs-Apparat in Thätigkeit gesetzt. Das Gas entweicht anfänglich durch das noch offene auf dem mittlern Halse der Flasche befindliche Ausflusrohr und kann bei seinem Austreten probirt werden. Hierauf schließt man das Ausflusrohr mit einer aus einem Stück Gummirohr gefertigten Kappe und öffnet den an dem längern und äussern Schenkel des Hebers angebrachten Quetschhahn, um das Wasser vor dem eintretenden Gase ausfließen zu lassen. Ist die Flasche mit Gas gefüllt, so wird der Gasentwicklungs-Apparat entfernt und das Gummirohr an der Gaszuleitungs-

röhre eben so wie die Heberöhre durch Quetschhähne geschlossen. Hierauf kann man die Gummikappe von dem Ausflusrohr abnehmen, aus dem Reservoir Wasser zufließen lassen, das austretende Gas anzünden und die Versuche beginnen.

Obwohl man mit einem Mohr'schen Quetschhahne den Wasserzufluß aus dem Reservoir in die Flasche recht gut reguliren kann, so war für meine Zwecke die Operation mit einem Quetschhahn nach Bunsen's Construction noch bequemer und feiner. Ich habe daher die Gummiröhre, welche das Ausflusrohr des Wasser-Reservoirs mit dem senkrechten Rohr der Gasometerflasche verbindet, mit einem Bunsen'schen Quetschhahn versehen, und denselben bei den Experimenten zur Regulirung der Flamme angewendet. Durch die feine Bewegung der Schraubchen des kleinen sinnreichen Instruments läßt sich der Wasserzufluß und durch denselben der Gasausfluß so genau und sicher reguliren, daß man die Flamme in jeder beliebigen Größe ruhig und gleichmäÙig brennend lange Zeit erhalten kann ¹⁾).

2. Da ich bei meinen Versuchen von der Ansicht ausging, daß die Entstehung und Beschaffenheit des Tons der chemischen Harmonika von der Oscillation des in dem Ausflus-Rohre befindlichen Gases abhängig sey, so war die Einrichtung so getroffen, daß das Brennrrohr oder Ausflusrohr von der Gaszuleitung scharf zu unterscheiden war, dagegen mit dem Gasvolumen in der Flasche in unbehinderter Verbindung stand. Deshalb war auch der den Gasausfluß regulirende Hahn bei der Gasometerflasche nicht in dem

1) Ich kann diese Gasometereinrichtung, welche sich eben so gut in größerem Maafstabe ausführen läßt, auch für chemische Zwecke empfehlen. Metall ist dabei gänzlich vermieden. Die Füllung ist sehr bequem und geht, wenn man die bekannten statischen Gesetze beachtet, schnell und sicher von Statten. Die Quetschhähne schliessen vortreflich und lassen sich bequemer handhaben als die manchmal undicht oder unbeweglich werdenden metallenen Hähne. Außerdem kann man, da das Gas nicht durch das Wasser geht, sondern mit demselben nur an der Oberfläche in Berührung kommt, auch mit Gasen operiren, welche vom Wasser absorbiert werden, z. B. mit Cyangas, Schwefelwasserstoff etc.

Ausflusrohr angebracht. Die Anwendung von Brennröhren von verschiedener Länge und Weite unter übrigens gleichen Umständen schien das geeignetste Mittel zu seyn, um den Einfluß der ausströmenden Gassäule zu ermitteln. Ich wendete dazu ausschliesslich Glasröhren an, theils weil gläserne Brennsitzen der schlechten Wärmeleitung wegen besonders geeignet sind, theils weil ich dieselben am bequemsten in gehöriger Anzahl und in der gewünschten Gestalt selbst anfertigen konnte. Die Ausflusröhren wurden grösstentheils an ihrer Mündung verengt und zwar entweder durch stumpfes Zusammenschmelzen vor der Glas-Bläserlampe, oder indem das Ende der Röhre in einen Faden ausgezogen wurde. Schneidet man den Faden ab, so entsteht eine kegelförmige Spitze, die zur Erzeugung der Töne sehr geeignet ist. Der Umstand, daß diese dünnen Glasspitzen durch die Hitze der Gasflammen glühend werden, ist einerseits nützlich, weil die oscillirende Flamme nicht so leicht erlischt, bringt aber anderseits den Nachtheil mit sich, daß die Mündung durch Zusammenschmelzen etwas kleiner wird, wodurch allerdings während der Experimente eine Aenderung der Umstände eintritt. Ich habe die Versuche mit Brennröhren von sehr verschiedenen Dimensionen angestellt, theils mit engen Glasfäden, die nur einige Centimeter lang waren, theils mit 4 bis 5 Millim. weiten Glasröhren bis zur Länge eines Meters. Auch die Gestalt der Röhren habe ich bei einigen Versuchen geändert, indem ich am obern oder untern Ende des Ausflusrohrs eine Kugel ausblies. Solche Brennröhren, wie in Fig. 3, Taf. I *a* und *b*, sind ebenfalls zur Erzeugung des Tons der chemischen Harmonika vollkommen geeignet.

Die zur Vervollständigung der chemischen Harmonika erforderlichen Röhren, die ich tönende Röhren oder Klang-Röhren nennen will, waren grösstentheils Pappröhren, welche ich in ähnlicher Weise, wie die Feuerwerker bei der Verfertigung der Hülsen zu den Raketen verfahren, anfertigte, indem ich mit Leim bestrichene große Papierbogen über hölzernen Cylindern von verschiedenem Durchmesser

zusammenrollte. Diese cylindrischen Röhren wurden in geeigneter Länge geschnitten und bildeten, auf die einzelnen Töne der Tonleiter gestimmt, einen Satz, der drei vollständige Octaven enthielt und von dem eingestrichenen c bis zum viergestrichenen c und darüber hinausreichte. Die Röhren hatten einen Durchmesser von 1 bis 4^{cm}. Ausserdem liefs sich eine 72^{cm} lange und 3,6^{cm} weite Röhre, welche angeblasen das kleine b angab, mit zwei andern etwas weitem Röhren zusammensetzen und zusammenschieben, so dafs ich dadurch Röhrenlängen erhielt, deren Töne die kleine Octave ausmachten und in die grofse Octave hinüberreichten. Noch längere Röhren setzte ich aus einzelnen 7^{cm} weiten Stücken dadurch zusammen, dafs ich die einzelnen Röhrenstücke, welche bis 65^{cm} lang waren, in nur wenig weitem kurzen hölzernen Hohlcyclindern, die inwendig beledert waren, winddicht zusammensteckte. Zwei dieser Röhrentheile waren zum Uebereinanderschieben eingerichtet. Ich konnte auf diese Weise Röhren zusammensetzen, welche mehrere Meter lang waren. Auch einige Glasröhren, welche zur Beobachtung des Orts und der Gestalt der Flamme geeigneter als Pappröhren sind, wurden bei den Versuchen gebraucht. Drei derselben, welche eine Länge von resp. 114,5, 97,5 und 59,5^{cm} und eine Weite von ungefähr 1,6 bis 2^{cm} hatten und die Töne d^0 , f^0 und $d^{1\ 1}$) angaben, versah ich, um den Ort der Flamme bequem und sicher beobachten zu können, mit einem Maafsstabe, indem ich

- 1) Ich bezeichne die Töne der kleinen Octave mit dem Exponenten 0 , die Töne der aufeinander folgenden höheren Octaven mit den Exponenten $1, 2, 3, 4$ und die tieferen Octaven mit negativen Exponenten, so dafs z. B. d^3 das dreigestrichene, d^0 das kleine, d^{-1} das grofse und d^{-2} das 16füfsige d bedeutet. Es giebt also der positive oder negative Exponent an, in die wievielte Octave über oder unter der kleinen Octave der bezeichnete Ton gehört. Denkt man sich zu dem Exponenten die Wurzel 2, so dafs z. B. a^3, g^{-1}, c^{-3} bedeutet $a \cdot 2^3, g \cdot 2^{-1}, c \cdot 2^{-3}$, so drücken diese Ausdrücke wirklich die Schwingungszahlen der bezeichneten Töne aus, wenn man die als Namen der Töne gebrauchten Buchstaben zur Bezeichnung der Schwingungszahlen der Töne aus der kleinen Octave gebraucht.

einen schmalen in Centimeter getheilten Papierstreifen der Länge nach auf dieselben klebte. Kleinere Glasröhren von verschiedener Länge und Weite, deren Töne in die drei- und viergestrichene Octave gehörten, waren ausserdem noch hinreichend vorhanden.

3. Wenn man den Versuch der chemischen Harmonika mit verschiedenen Apparaten, also mit Flammen, die aus Brennröhren von verschiedenen Dimensionen hervortreten, und mit darüber gehaltenen Röhren von verschiedener Gröfse anstellt, so fällt selbst bei einer oberflächlichen Betrachtung der Erscheinung ein verschiedenes Verhalten der Flammen zu einzelnen Röhren ins Auge. Manche Röhren sprechen schon leicht und schön an, wenn man sie kaum über die Flamme gebracht, andere mufs man tief herunter senken, so dafs die Flamme ziemlich in der Mitte der Röhre brennt, ehe der Ton anspricht. Der Ton ist manchmal voll und kräftig, wohlklingend und rein, in anderen Fällen ist er schwach und klanglos, oder schnarrend und stöfsend. Oft gelingt es nur Flageolettöne aus Röhren zu erhalten, die mit anderen Flammen ihren Grundton vortrefflich erzeugen; nicht selten sprechen die Röhren gar nicht an.

Diese negative Seite der Erscheinung schien mir besonders wichtig zu seyn, und ich habe daher die Umstände zu ermitteln gesucht, unter welchen der Versuch nicht gelingt. Man darf jedoch, wie ich hervorheben mufs, nicht zu rasch über das Nichtansprechen des Tons entscheiden; denn oft gelingt es anfänglich nicht, eine Röhre zum Tönen zu bringen, mit welcher später, ohne dafs man in der Einrichtung des Apparats irgend eine Aenderung vorgenommen hat, das Experiment sicher gelingt. Sind nämlich die Bedingungen, von welchen die Erscheinung abhängt, beinahe vorhanden, so reicht oft ein nicht bemerkbarer oder nicht beachteter Umstand hin, das vorher negative Resultat in ein positives zu verwandeln. Aeusere Einwirkungen, z. B. die von einem gesungenen oder auf einem musikalischen Instrumente angegebenen Ton verursachten Luftschwingungen reichen oft hin, eine nicht ganz zweckmäfsig zusammen-

gesetzte chemische Harmonika zum Tönen zu bringen. Der erregende Ton muß jedoch nach F. G. Schaffgotsch ¹⁾ mit dem Tone der Röhre übereinstimmen, oder zu demselben in einem einfachen Verhältnisse stehen, am besten in dem der Octave. Aehnlichen Einfluß hat nach demselben Beobachter die durch Fächeln mit der Hand über der Mündung der Röhre verursachte Luftbewegung. Ich kann zwei andere Hilfsmittel für die Tonerzeugung der chemischen Harmonika, die mir bei meinen Versuchen sehr nützlich gewesen sind, als sehr bequem und wirksam empfehlen. Sind nämlich die Bedingungen für die Erzeugung des Tons nicht ganz vorhanden, so gelingt es, denselben hervor zu locken, wenn man von Weitem über das obere oder untere offene Ende der Röhre leicht hinwegbläst, etwa wie wenn man einen leichten Gegenstand fortblasen will. Der erzeugte Ton ist hell und kräftig und mit dem schwachen und heisern Tone, den man durch Hinwegblasen über eine Röhre erhält, nicht zu verwechseln. Die Wasserstoff-Gasflamme erlischt, wenn man vorsichtig bläst, nicht leicht und zeigt, wenn man die untere Mündung der Röhre anbläst, ein eigenthümliches Verhalten, indem sie sich in Folge des Luftzuges nach unten über die Ausflusssröhre überstülpt und so gewissermaßen nach unten brennend zittert. Wenn man mit Kohlenwasserstoff experimentirt, so ist diese Hülfe nicht immer anzuwenden, weil die Flämmchen von diesem Gase für jede Luftbewegung viel empfindlicher sind und sehr leicht auslöschen. Das andere, auch hier anwendbare Hilfsmittel besteht in der Erschütterung der Röhre, welche man durch leichtes Klopfen erregt. Ist die Tendenz zur Entstehung des Tons vorhanden, so hört man auf jeden Schlag, den man mit dem Finger oder einem leichten Gegenstand auf die über die Flamme gehaltene Röhre ausführt, ein Nachklingen des Tones, welcher entstehen soll. Die Papp- röhren machen, wenn man unter günstigen Umständen an sie klopft, den Eindruck, als wenn sie elastisch wären und den Klang verursachten. Aus dem Nachklingen entsteht,

1) Pogg. Ann. Bd. CI, S. 479.

wenn man die Schläge rasch wiederholt, der Ton der Harmonika, der, einmal entstanden, sehr oft selbstständig fort-dauert. Dasselbe gilt auch von dem durch Blasen erregten Tone, welcher jedoch oft, so kräftig er auch seyn mag, zugleich mit der durch das Anblasen gewährten Hülfe aufhört. Dieser Fall tritt hauptsächlich bei auf diese Weise erzeugten hohen Tönen ein.

Wenn man unter sorgfältiger Anwendung der erwähnten die Tonerzeugung befördernden Hilfsmittel über einer all-mählich vergrößerten oder verkleinerten Flamme mit einer Röhre vergeblich experimentirt hat, so darf man annehmen, dafs diese Flamme nicht geeignet sey, die in dieser Röhre enthaltene Luftsäule in Schwingung zu versetzen und den derselben zukommenden Ton zu erzeugen. Sind sehr viele Röhren von den verschiedensten Dimensionen ohne Erfolg mit einer Flamme probirt worden, so scheint der Schlufs gerechtfertigt zu seyn, dafs unter den vorhandenen Umständen der Ton der chemischen Harmonika überhaupt nicht entsteht. Auf diese Weise habe ich die Ueberzeugung gewonnen, dafs äufserlich durchaus zweckmäfsig erscheinende Flammen von Wasserstoffgas und schwerem Kohlenwasserstoff zur Erzeugung von Tönen ungeeignet seyn können, und dafs auch die zur Tonerzeugung geeigneten Flammen gewisse Töne von bestimmter Höhe nicht hervorrufen.

4. Die Hauptbedingung für die Erzeugung des Tons ist nach meiner oben ausgesprochenen Ansicht nicht vorhanden, wenn die in der Ausflufsrohre enthaltene Gassäule zu oscilliren gehindert wird. Um dafür einen Beweis zu liefern, habe ich folgende, wie ich glaube, entscheidende Versuche gemacht.

Ich füllte Ausflufsrohren, welche sich schon als zur Erzeugung des Tons geeignet bewährt hatten, mit baumwollenem Lampendochte, welches ich von unten in die Röhre hineindrehte. Setzt man eine solche Röhre auf den Hals der Gasentwicklungs-Flasche, so dringt das Gas trotz der dichten Stopfung durch die engen Canäle zwischen den Fäden mit hinreichender Geschwindigkeit und bildet angezün-

det über der Mündung der Spitze eine Flamme, welche sich dem Ansehen nach von der aus dem nicht gestopften Rohre hervortretenden nicht unterscheidet. Die Flamme ist je nach der Lebhaftigkeit der Gasentwicklung auch groß oder klein, erregt aber in keiner der darüber gehaltenen Röhren den Ton. Man kann sogar die Stopfung etwas zurückziehen, so daß unter der Mündung der Spitze eine kurze Gassäule vorhanden ist, ohne daß die Flamme die Eigenschaft, den Ton zu erregen, erhält. Wird der freie Raum in der Ausflusssröhre, wenn man die Stopfung allmählich zurückzieht, hinreichend groß, so entstehen zuletzt die Töne; dieselben sind aber andere als die, welche man erhält, wenn man die Stopfung ganz herausnimmt.

Hiernach war auch zu erwarten, daß die Reibung, welche das Gas beim Durchgange durch sehr enge Ausflusssröhren erfährt, der Tonerregung durch die Flamme hinderlich seyn würde. Deshalb wurde eine 29,5^{cm} lange und etwa ein Millimeter weite Thermometerröhre als Ausflusssröhre benutzt und mit einem Kork in den Hals der Gasentwicklungsflasche gesetzt. Bei einem, wie am Stande der Flüssigkeit in der Trichterröhre zu erkennen war, größerem Drucke des Gases im Innern der Flasche, strömte dasselbe doch mit der erforderlichen Geschwindigkeit durch den engen Canal und bildete eine ruhig brennende Flamme, die zur Erzeugung des Tons geeignet schien, denselben aber mit keiner der vielen mit ihr versuchten Röhren erregte. Die Flamme hat über dem dicken Thermometerrohre allerdings ein anderes Ansehen als über Spitzen von dünnem Glase; denn sie breitet sich über dem stumpf abgebrochenen Ende sehr aus, scheint auf der End-Fläche aufzusitzen und hat die Gestalt eines stumpfen Kegels von geringer Höhe, während sie sonst mehr länglichrund ist und über den Ausflussspitzen sich frei erhebt. Daß solche Flammen den Ton dennoch erregen können, ergab sich aus einem weiter unten anzuführenden Versuche. Um bei Anwendung von sehr engen Ausflusssröhren dennoch Flammen von der gewöhnlichen Gestalt prüfen zu können, habe ich einige Versuche

angestellt, bei welchen Glasfäden von verschiedener Länge als Ausflusströhen dienten. Hierdurch wurde noch der Vortheil erlangt, daß das Verhalten der Flamme mit sehr kleinen und engen Röhrchen untersucht werden konnte.

Ein 10^{ctm} langer und von Außen gemessen nicht ganz 1^{mm} dicker Faden, welcher dünn im Glase war, wurde mit einem Pfröpfchen in ein 5^{ctm} langes und 6^{mm} weites Glasrohr gekittet und mit diesem auf den Gasentwicklungs-Apparat gesetzt. Bei der Hitze der Flamme verengte sich das feine Röhrchen noch bedeutend durch Zusammenschmelzen. Obgleich die Flamme gut brannte, entstand auch bei Anwendung von kurzen und engen Klangröhren kein Ton. Nachdem jedoch der Glasfaden allmählich bis auf eine Länge von 7^{ctm} abgeschnitten worden war, tönte eine 9,5^{ctm} lange und 9^{mm} weite Glasröhre. Als die fadenförmige Ausflusströhre bis auf 5,2 und 3,5^{ctm} Länge verkürzt war, sprachen mehrere kleine Röhren von 9,5 bis 5,2^{ctm} Länge über der Flamme an und gaben Töne von a^3 bis g^4 . Die kürzeste Röhre war 6^{mm} weit.

Da bei diesem Versuche wegen des dünnen Glases die Oeffnung der fadenförmigen Ausflusströhre sich sehr rasch verengte, so wurde der Versuch noch mit anderen Glasfäden wiederholt, bei deren Anfertigung ich darauf achtete, daß sie nicht zu schwach im Glase wurden. Sie waren den größten Theil ihrer Länge wenig über ein Millimeter dick, erweiterten sich aber allmählich nach unten. Sie wurden mit einem kurzen Stücke der Glasröhre, aus welcher sie ausgezogen worden waren, mittelst eines kurzen Gummirohrs auf ein nicht verengtes Ausflusrohr der Gasentwicklungs-Flasche gesetzt. Die Flamme aus einem solchen 20^{ctm} langen Faden brachte keine der mit ihr versuchten Röhren zum Tönen. Auch mit einem 10^{ctm} langen Faden gab der Versuch anfänglich ein negatives Resultat; bei der Wiederholung des Versuchs fanden sich jedoch Röhren von 17,5 und 12,6^{ctm} Länge und der verhältnißmäfsig geringen Weite von 7^{mm}, welche ansprachen und b^2 und dis^3 gaben. Bei Anwendung eines dritten 6^{ctm} langen Fadens

tönten zwei Glasröhren von 7,7 und 6,4^{cm} Länge und 7,5 und 6^{mm} Weite, deren Töne c^4 und dis^4 waren. Die Röhren von 9,5 und 5,2^{cm} Länge sprachen nur an, wenn ich die Tonerzeugung durch Anblasen unterstützte.

Auch die Flamme des schweren Kohlenwasserstoff-Gases zeigt dasselbe Verhalten, d. h. sie erregt den Ton der chemischen Harmonika nicht, wenn durch Stopfung der Ausflusrröhre oder durch die Reibung in einer Capillar-Röhre die Oscillation der Gassäule unter der Flamme gehindert wird. Ich habe die Versuche mit Kohlenwasserstoff größtentheils unter Anwendung derselben Ausflusrröhren wie oben angestellt. Die Flamme des aus dem Thermometerrohr tretenden Kohlenwasserstoffgases hatte dieselbe breite Gestalt wie die Wasserstoff-Flamme und erregte in keiner der Röhren den Ton. Als ein 10^{cm} langes Stück von dieser Thermometerröhre abgeschnitten und als Ausflusrohr gebraucht wurde, erregte die Flamme nur in einer 114,5^{cm} langen ungefähr 1,7^{cm} weiten offenen und in einer gedeckten 59,5^{cm} langen etwas konischen Röhre, welche 1,6 bis 2,1^{cm} weit war, schwach und etwas unsicher den Ton. Um mit der kürzeren gedeckten Röhre den Ton, welche ungefähr d^0 war, zu erhalten, mußte diese Röhre zuerst offen über die Flamme herabgesenkt, dann oben geschlossen und beim ersten Nachklingen des Tones sofort etwas gehoben werden, weil die Flamme sonst augenblicklich erlosch.

Bei Anwendung des oben erwähnten 20^{cm} langen Glasfadens bildete das durch denselben fließende Kohlenwasserstoffgas eine schöne, ruhig brennende Flamme, welche sich durch den Quetschhahn gut reguliren liefs, sich aber bei allen mit ihr versuchten Röhren völlig unwirksam zeigte. Dagegen sprachen mehrere Röhren an, als die Glasfäden von 10^{cm} und 6^{cm} Länge als Ausflusrröhren benutzt wurden. Die Röhren, welche durch die Kohlenwasserstoff-Flammen zum Tönen gebracht werden, sind aber viel länger, und die erzeugten Töne sind viel tiefer als diejenigen, welche bei den Versuchen mit Wasserstoff ansprechen. Während die aus dem Faden von 10^{cm} Länge brennende Wasser-

stoff-Flamme nur Luftsäulen von 12,6 bis 17,5^{cm} Länge in Schwingungen zu setzen vermochte, brachte die unter denselben Umständen brennende Flamme des Kohlenwasserstoffgases Röhren von 114,5, 97,5 und 77^{cm} zum Tönen und zwar die letzte Röhre auch, wenn sie gedeckt war, woraus sich ein Tonumfang von dem kleinen a bis zum grossen a ergibt. Bei Anwendung des 6^{cm} langen Glasfadens sprechen Töne von d^0 bis a^1 in Röhren von der entsprechenden Länge an.

5. Der Umstand, dass Flammen von verschiedenen Gasen bei Anwendung derselben Ausflusströhren dennoch Töne von verschiedener Höhe erzeugen, darf als eine Bestätigung der Ansicht angesehen werden, dass das in der Ausflusströhre enthaltene Gas während der Dauer des Tons mitschwingen muss, und es liegt die Vermuthung nahe, dass nicht blofs in dem Falle, wo die Oscillation des Gasstromes vollständig gehindert ist, sondern auch, wenn die Uebereinstimmung der Schwingungen der Gassäule in dem Ausflusrohr mit den Schwingungen der Luftsäule in der über die Flamme gehaltenen Röhre nicht stattfindet, oder nicht zu Stande kommt, der Ton der chemischen Harmonika nicht entstehen kann. Diese Hypothese findet einigen Halt an der leicht gemachten Beobachtung, dass bei Anwendung von kurzen und engen Ausflusströhren die Gasflamme vorzüglich geeignet ist, mit kurzen Röhren hohe Töne zu erzeugen, und dass man, um längere Röhren zum Ansprechen zu bringen, auch längere Ausflusströhren gebrauchen muss. Um zu einem Resultat zu gelangen, musste zunächst der Zusammenhang zwischen der Dimension der einzelnen Ausflusströhren und den tönenden Röhren ermittelt werden. Die Erfahrung lehrt, dass man bei Anwendung einer und derselben Ausflusströhre durch die Flammen in der Regel eine ziemlich grosse Anzahl von Tönen mit Röhren von verschiedenen Dimensionen erzeugen kann, und dass, wenn man eine Röhre, welche aus zwei in einander zu schiebenden Stücken zusammengesetzt ist, über die Flamme hält, man den Ton der Harmonika durch Verlängern oder Verkürzen der Röhre all-

mählich tiefer und höher machen kann, ohne dafs sich innerhalb gewisser Gränzen plötzliche Uebergänge von einem Tone zum andern finden. Hierdurch wurde die Ermittlung des Einflusses, welchen die Ausflufsrohre auf die Tonbildung hat, viel schwieriger und umständlicher; denn da sich nicht entscheiden läfst, welcher von den vielen von den Flammen der verschiedenen Ausflufsrohren erzeugten Tönen auszuwählen ist, um nach ihm die Vergleichung anzustellen, so mufste ermittelt werden, welche Töne überhaupt bei der Anwendung der einzelnen Ausflufsrohren ansprechen, um durch die Vergleichung der ganzen Tongruppe zu einem Resultate zu gelangen. Der Umfang der einem Ausflufsrohre zukommenden Töne wurde dadurch bestimmt, dafs der Reihe nach die bereit gelegten Röhren mit der Flamme durchprobiert wurden, bis sich die längste und kürzeste fand, mit welcher der Ton noch ansprach. Die Röhren, deren Töne sich an der Gränze des Stimmumfangs der Flamme befinden, sprechen viel schlechter und schwächer an, als die in der Mitte der Gruppe befindlichen, und oft ist die oben erwähnte Nachhülfe durch Klopfen oder Anblasen nothwendig, um mit ihnen noch einen Ton zu erhalten. Die Gränzen dieses Tonumfangs sind auch nicht immer ganz sicher zu bestimmen; denn mehrere Mal gelang es mir, vielleicht bei gröfserer Geduld und durch geschicktere Anwendung der Hülfen, den Umfang einer Ausflufsrohre um einen oder mehrere Töne zu erweitern, als ich den Versuch unter denselben Umständen wiederholte. Besonders schwer und unsicher ist oft die Entscheidung, welches die längste mit einer Flamme noch ansprechende Röhre ist; denn auch bei mäfsig langen Ausflufsrohren, deren Mündung nicht zu eng ist, sprechen schon sehr tiefe Töne an, zu deren Erzeugung mehrere Meter lange Röhren erforderlich sind. Abgesehen von der unbequemen Handhabung solcher Röhren, tritt bei ihrem Gebrauch der Uebelstand ein, dafs dieselben verhältnismäfsig nicht tief genug über die Flamme herabgesenkt werden können, um die Entscheidung, dafs ihr Grundton nicht anspricht, zu rechtfertigen.

Der Grundton der langen Röhren ist übrigens oft schwach und manchmal kaum hörbar, besonders wenn die Röhren im Verhältniß zu ihrer Länge eng sind. Bei der Bestimmung der Gränze des Tonumfangs einer Flamme nach der Seite der hohen Töne hin tritt der Uebelstand ein, daß die zur Erzeugung hoher Töne erforderlichen kurzen und nothwendiger Weise auch engen Röhrchen von dem dicken Ende der Ausflusrröhre zum Theil ausgefüllt werden, wodurch nicht bloß die Höhe des Tons der Röhre modificirt wird, sondern auch die Tonerzeugung erschwert und gehindert werden kann.

Beim Durchprobiren der einzelnen Klang-Röhren mit einer Flamme ist es angenehm und nützlich, zu wissen, wie weit man noch ungefähr von der Gränze ihres Umfangs entfernt sey. Hierfür gewähren folgende Bemerkungen einigen Anhalt. Wenn die Flamme in einer am obern Ende geschlossenen oder gedeckten Röhre den Grundton, also die tiefere Octave der offenen Röhre, erzeugt, so kann man erwarten, daß auch eine doppelt so lange offene Röhre noch ansprechen werde; hält man dagegen die gedeckte Röhre ohne Erfolg über die Flamme, oder entsteht bloß ein Flageolettton, so ist die Gränze der tiefen Töne innerhalb der nächsten Octave zu suchen. Die Beobachtung der während der mit längeren Röhren angestellten Versuche entstehende Flageolettöne berechtigt dagegen zu einem Schlusse auf die mit kürzeren Röhren von derselben Flamme zu erhaltenden höheren Töne. Entsteht z. B. in einer Klang-Röhre der Ton 2 oder 3, also die Octave oder die höhere Quinte, so sprechen mit derselben Flamme auch diejenigen Röhren an, deren Länge die Hälfte oder den dritten Theil jener Röhre beträgt.

Es dürfte hier noch eine Bemerkung über den Einfluß am Orte seyn, welchen die Weite der Röhre, die Größe der Flamme und die Haltung der Röhre über derselben auf die Tonerzeugung ausüben. Der Ton der Harmonika spricht am besten und schönsten an, wenn zwischen der Länge und Weite der Röhre ein zweckmäßiges Verhältniß statt-

findet, etwa dasjenige, welches die Orgelbauer bei der Construction ihrer Pfeifen anwenden. Wenn die Flamme zur Erzeugung des Tons einer Röhre von bestimmter Länge vollkommen geeignet ist, so kann die Weite oder Mensur derselben sehr verschieden seyn; der Ton spricht dennoch an. Eine geeignete Flamme brachte zum Beispiel Röhren von 35^{cm} Länge gut und sicher zum Tönen, wenn auch die Weite derselben von 1,7^{cm} bis 7^{cm} verschieden war. Liegt dagegen der Ton, welcher der Länge der angewendeten Röhren entspricht, der Gränze des Tonumfangs der Flamme nahe, so sprechen nur noch die verhältnißmäßig engeren Klang-Röhren an. Der Ton ist wie bei den Orgelpfeifen in den weiteren Röhren von gleicher Länge etwas tiefer. Bei Anwendung von im Verhältniß zur Länge engen Röhren ist der Ton weniger angenehm und gleichmäßig, die Flamme schwingt unruhiger und heftiger und erlischt leicht, was bei weiten Röhren seltener eintritt. Mit engen Klang-Röhren erhält man auch leichter die Flageolettöne, während bei weiteren der Grundton überwiegt.

Die Gröfse der Flamme und die Stellung derselben innerhalb des von ihr in Schwingung zu versetzenden Luftkörpers ist nicht ohne Einfluß auf die Erzeugung des Tons. Um tiefe Töne mit Röhren von großen Dimensionen zu erhalten, muß man größere Flammen anwenden, während die mittleren und hohen Töne besser, oft auch nur durch kleinere Flammen erregt werden. Eine größere Flamme giebt einen kräftigeren Ton, und man kann, wenn man während des Tönens der Röhre die Flamme allmählich vergrößert und verkleinert, den Ton bei sonst geeigneten Umständen zum kräftigsten Forte anschwellen und wieder zum leisen Piano abnehmen lassen. Der Einfluß, den die Gröfse der Flamme auf die Erzeugung des Tons übt, scheint übrigens nur ein secundärer zu seyn, weil auch sehr kleine Flammen bei sonst günstigen Verhältnissen zur Erzeugung tiefer Töne, die freilich schwach sind, ausreichen und mit viel größeren Flammen auch höhere Töne erhalten werden können. Bei Versuchen mit kurzen Klang-Röhren, welche

selbst nicht ansprechen, muß man sogar die Flamme etwas vergrößern, wenn man der Entstehung des Tons durch Anblasen mit Erfolg zu Hülfe kommen will. Ich habe deshalb das Messen der Flammen, welches sehr zeitraubend ist und bei meiner Art zu experimentiren kaum ausführbar gewesen wäre, für überflüssig gehalten, und den Flammen immer diejenige Ausdehnung gegeben, bei welchen die Erzeugung des Tons noch möglich war. Bei den meisten Versuchen waren die Flämmchen klein und hatten nur eine Höhe von wenigen Millimetern; unter Umständen wurde ihnen aber auch eine Ausdehnung von mehreren Centimetern gegeben.

Den Ort der Flamme innerhalb der tönenden Röhre habe ich nur in den Fällen bestimmt, wo eine besondere Veranlassung war; denn unter gewissen Verhältnissen ist die Flamme im Stande, die Luftkörper von geeigneter Ausdehnung in tönende Schwingungen zu versetzen, wenn sie auch an sehr verschiedenen innerhalb derselben gelegenen Punkten auf dieselben wirkt. Eine geeignete Flamme erregt in einer Röhre von zweckmäßiger Weite schon den Ton, wenn sie sich kaum in derselben befindet, und zeigt, wenn sie nicht wegen der Heftigkeit der Schwingungen beim weiteren Herabsenken der Röhre erlischt, beim Auf- und Abbewegen derselben keine Aenderung in ihrem Verhalten zur Ton-Erzeugung, als dafs der Ton immer etwas höher und intensiver wird, wenn die Flamme der Mitte der Röhre sich nähert. Wenn die Verhältnisse zwischen der tönenden Röhre und der die Wirksamkeit der Flamme bedingenden Theile des Apparats, insbesondere der Ausflufsröhre, weniger günstig sind, so muß man eine solche Röhre viel tiefer über die Flamme herabführen, ehe der Ton anspricht. Man kann in diesem Falle, wenn die Flamme sich noch unterhalb der Stelle befindet, wo sie die Luftsäule für sich allein in Schwingung setzt, entweder durch Singen des zu erwartenden Tons, oder durch Klopfen oder Blasen der Tonerzeugung zu Hülfe kommen, oder durch Vergrößerung der Flamme bewirken, dafs dieselbe Energie genug erhält, den Ton auch an Stellen zu erregen, die von der Mitte der Röhre weiter

entfernt sind. In Röhren, welche im Verhältniß zu ihrer Länge eng sind, sprechen, wenn sie gehalten werden, daß ihre untere Mündung sich nur wenig unterhalb der Flamme befindet, nur Flageolettöne an, und erst, wenn die Röhren tiefer gehalten werden, so daß die Flamme ihrer Mitte sich nähert, entsteht der Grundton. Die Flamme des Kohlenwasserstoffgases zeigt mit solchen langen und engen Röhren ein eigenthümliches Verhalten, welches wohl bei der Wasserstoff-Flamme sich zeigt, aber nicht so entschieden hervortritt. Wenn man eine wegen ihrer geringen Weite zur Erzeugung von Flageolettönen geeignete Röhre nur einige Centimeter über ein kleines Kohlenwasserstoff-Flämmchen herabsenkt, so spricht ein hoher Flageoletton an, etwa der mit 4 oder 5 bezeichnete harmonische Ton. Senkt man die Röhre tiefer, so erlischt die Flamme immer an derselben Stelle, so oft man den Versuch auch wiederholen mag. Vergrößert man dagegen die Flamme ein wenig, so kann die Flamme ohne zu verlöschen jene Stelle passiren, und man erhält dann einen tieferen Flageoletton, etwa den Ton 3 oder 4, der so lange tönt, bis beim weiteren Senken der Röhre die Flamme wieder an einer bestimmten Stelle erlischt. Eine abermalige Vergrößerung der Flamme hat dann in der Regel denselben Erfolg, und man gelangt auf diese Weise zum Grundtone der Röhre. Wenn ich die Klang-Röhre festhielt, so daß die Flamme auf dieselbe Stelle der Luftsäule wirkte, ging bei der allmählichen Verkleinerung der Flamme der Grundton in der Regel in einen Flageoletton über; die geordnete Reihenfolge der harmonischen Töne 1, 2, 3 u. s. w. habe ich aber auf diese Weise nie erhalten.

Die Höhe der Töne, welche die einzelnen Röhren gaben, wurde, so oft es für meine Zwecke nöthig schien, mit Hülfe des Monochords bestimmt. Ich fand die von Chladni zuerst gemachte und hervorgehobene Beobachtung, daß der Ton der chemischen Harmonika mit dem durch Anblasen der Röhre erzeugten übereinstimmt, im Allgemeinen bestätigt, jedoch zeigten sich, abgesehen von der durch die Er-

wärmung der schwingenden Luftsäule herbeigeführten Erhöhung des Tons, einzelne auffallende Abweichungen von dem Tone der Röhre, welche darauf hindeuten, daß noch ein anderer von den Dimensionen der Röhre unabhängiger Factor auf die Schwingungen Einfluss hat.

6. Der Umfang der Töne, welche bei Anwendung einer Ausflusrröhre von zweckmäßiger Construction durch die Flamme des Wasserstoffgases erzeugt werden, ist sehr bedeutend und erstreckt sich durch mehrere Octaven, so daß also tiefe und hohe Töne durch eine und dieselbe Flamme erzeugt werden können. Es sondern sich aber diese Töne in zwei oder mehrere Gruppen oder Register, innerhalb welcher alle Töne, die man durch allmähliche Verlängerung oder Verkürzung der tönenden Röhren erzeugen will, ansprechen, und zwischen welchen in der Aufeinanderfolge der Töne dadurch gewissermaßen Lücken entstehen, daß Röhren von gewissen Längen nicht ansprechen, auch wenn man die oben erwähnten Hilfsmittel der Tonerzeugung anwendet und sowohl die Größe als den Ort der Flamme beliebig ändert. Daß diese Röhren zur Erzeugung des Ton der Harmonika geeignet sind, ergiebt sich aus ihrem Verhalten zu andern Ausflusrröhren, von deren Flammen sie, soweit sie in das klingende Register derselben gehören, leicht und sicher zum Tönen gebracht werden. Wenn einzelne Röhren, welche ihrer Länge nach in das nicht ansprechende Register der angewendeten Flammen gehören, tönen, so ist der erzeugte Ton ein Flageoletton aus einem der klingenden Register der Flamme. Wenn der erste Flageoletton der Röhre, d. h. die Octave des Grundtons, ebenfalls zu den der Flamme fehlenden Tönen gehört, so kann wohl auch ein anderer harmonischer Ton, z. B. der Ton 3 statt des Grundtons, ansprechen.

Die in der Aufeinanderfolge der von einer Flamme erzeugten Töne eintretenden Lücken sind nicht zufällig und regellos, sondern finden sich bei der Wiederholung der Versuche immer wieder vor, und es tritt nur manchmal in ihrer Ausdehnung oder Lage dadurch eine kleine Aende-

rung ein, dafs in Folge der gröfseren Geduld des Experimentators, oder irgend einer nicht bemerkbaren Modification des Apparats der eine oder der andere Gränztön, der früher ausgefallen war, noch anspricht. Es kommt wohl auch während des Verlaufs einer Versuchsreihe vor, dafs ein Gränztön, der schon ansprach, später nicht mehr zu erhalten ist, und dafür eine kürzere Röhre, die früher ohne Erfolg angewendet wurde, nunmehr ihren Ton giebt, so dafs dadurch das ganze Register der Lücke um einen Ton höher geschoben erscheint.

Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen mit verschiedenen Modificationen des Apparats angestellten Versuche würde zu manchen nicht uninteressanten Bemerkungen über das leichte oder schwere Ansprechen mancher Töne etc. Gelegenheit geben; doch dürfte dazu viel Raum erforderlich seyn, und ich ziehe deshalb eine tabellarische Zusammenstellung der Resultate vor, welche die zur Ermittlung des ganzen Tonumfangs der einzelnen Flammen angestellten Versuche gegeben haben, wodurch die Uebersicht und die Vergleichung erleichtert werden wird.

Die in den beiden folgenden Tabellen angeführten 24 Versuchsreihen sind sämmtlich mit Wasserstoffgas-Flammen angestellt. Bei den Versuchen Nr. 1 bis 7 von Tabelle I und Nr. 1 bis 11 diente die oben erwähnte Woulfe'sche Flasche als Gasentwicklungs-Apparat. Ungefähr der dritte Theil ihres Volumens wurde von dem granulirten Zink und der verdünnten Schwefelsäure ausgefüllt, so dafs also in der Flasche noch Raum für ein Gasvolumen von ungefähr 1000 Cubik-Centimetern frei blieb, welches mit der Gasssäule in dem Ausflufsrohre communicirte und an den Schwingungen derselben Theil nehmen konnte. Die Versuche Nr. 8 bis 11 in Tabelle I wurden mit dem in Fig. 2, Taf. I abgebildeten kleinen Apparate angestellt, in welchem nur ein Raum von etwa 45 Cubik-Centimeter für das zum Abflusse sich unter der Ausflufsrohre sammelnde Gas vorhanden war. Die Versuche Nr. 12 in beiden Tabellen sind mit der oben beschriebenen in Fig. 1, Taf. I abgebildeten

Gasometer-Flasche angestellt. Bei dem Versuche Nr. 12 in Tabelle I verringerte sich das Volumen des vorrätigen Gases allmählich durch den Zufluss des Wassers; bei dem Versuche Nr. 12 in Tabelle II dagegen, welcher zwischen dem Füllen der Gasometer-Flasche mit Gas gemacht wurde, blieb der Gasentwicklungs-Apparat mit der Flasche in Verbindung und lieferte während des Versuchs das zur Unterhaltung der Flamme erforderliche Gas. Nachdem der Tonumfang der Flamme bestimmt worden war, wurde das Ausflusrohr geschlossen, der Quetschhahn *k* geöffnet und eine bestimmte Menge Gas in die Flasche hinein gelassen. Hierauf wurde die Flamme wieder angezündet und der Tonumfang derselben aufs neue bestimmt. Auf diese Weise wurde der Versuch angestellt, als die Flasche beinahe ganz mit Wasser gefüllt war, und dann mit darin enthaltenem Gasvolumen von 180, 600, 1100 und 2300 Cubik-Centimetern.

Die Ausflusröhre war in den Versuchen Nr. 1 bis 4 von Tabelle I am Ende nicht verengt; bei den übrigen Versuchen derselben Tabelle war sie kegelförmig zugespitzt. In Nr. 6 und 7 wurde dieselbe Ausflusröhre angewendet, in Nr. 7 war aber das untere Ende derselben durch Zusammenschmelzen so verengt, daß die Oeffnung nur noch 1^{mm} weit war. Bei sämtlichen Versuchen der Tabelle II hatten die Ausflusröhren eine eigenthümliche Einrichtung. Sie waren an ihrem oberen Ende nicht verengt, sondern glatt abgeschnitten. Die Verengung der Mündung wurde dadurch herbeigeführt, daß etwa 3^{cm} lange Röhrenstücke von gleicher Weite, die am Ende conisch zugespitzt waren, mittelst kurzer Gummiröhren an die Ausflusröhren angesetzt wurden. Diese Glasspitzen, welche Ausflusöffnungen von verschiedener Weite hatten, konnten leicht gewechselt werden. Bei dieser Einrichtung war es also leicht und bequem ausführbar, unter übrigens gleichen Umständen mit verschiedenen Oeffnungen zu experimentiren.

Die Dimensionen der Ausflusröhren, deren Länge in der zweiten Columnne in Centimetern, deren innere (lichte) Weite in der dritten Columnne und deren Ausflusöffnung

in der vierten Columnne in Millimetern angegeben sind, sind nur aus freier Hand mit Maafsstab und Zirkel gemessen worden, und es machen daher diese Angaben nur auf eine relative Genauigkeit Anspruch. In der fünften, siebenten und neunten Columnne ist nicht die Länge aller Röhren, welche mit der betreffenden Flamme getönt haben, sondern nur die der längsten oder kürzesten von jeder Tongruppe angegeben. Unter den Zahlen, welche die Länge der Röhren in Centimetern ausdrücken, habe ich die Töne derselben angegeben. Diese Angabe ist als eine beiläufige anzusehen. Der Ton der Harmonika ist in der Regel um eine kleine Sekunde höher als der Ton, welchen man durch Anblasen der angewandten Röhre erhält; diese Erhöhung ist aber nicht immer gleich und eine und dieselbe Röhre giebt manchmal mit verschiedenen Flammen auch verschiedene Töne. Der Unterschied kann unter Umständen einen ganzen Ton betragen. Da es für den Zweck der Untersuchung hinreichte, zu constatiren, dafs der erhaltene Ton der Grundton der Röhre war, so konnte die jedesmalige genaue Bestimmung der Tonhöhe oder der Schwingungszahl, wodurch die ohnehin weitläufigen Versuche sehr zeitraubend geworden wären, füglich unterbleiben. In der sechsten und achten Columnne sind die Lücken oder Pausen durch die Längen der Röhren, welche mit der Flamme nicht angesprochen haben, bezeichnet, und darunter die Töne vermerkt, welche der Flamme fehlen.

Tabelle I.

No.	Ausflußröhren.			Erste Tongruppe	Länge der nicht anspre- chenden Röhren	Zweite Tongruppe	Länge der nicht anspre- chenden Röhren	Dritte Tongruppe
	Länge	Weite	Öffnung der Spitze	Länge der tönenden Röhren		Länge der tönenden Röhren		Länge der tönenden Röhren
	ctm	mm	mm	von: ctm bis:	von: ctm bis:	von: ctm bis:	von: ctm bis:	von: ctm bis:
1	30,5	1,4		114,5 - 35 $d^0 - a^1$				
2	28	2,5		158 - 39,5 $a^{-1} - g^1$				
3	28,5	4		338 - 35 $g^{-2} - a^1$				
4	90	3,8		262 - 114,5 $c^{-1} - f^0$	79 - 29,7 $g^0 - c^2$	26,2 - 22,4 $d^1 - f^2$		
5	59	5	2	246 - 46,5 $c^{-1} - f^1$	39,5 - 22,4 $g^1 - f^2$	20 - 17,5 $g^2 - c^3$		
6	59	4	1,8	252 - 46,5 $c^{-1} - f^1$	39,5 - 22,4 $g^1 - f^2$	20 - 9,5 $g^2 - a^3$		
7	59	4	1,8	260 - 46,5 $c^{-1} - f^1$	39,5 - 26,2 $g^1 - d^2$	24 - 9,5 $e^2 - a^3$		
8	80	4	1,3	117 - 54,4 $d^0 - d^1$	49,8 - 29,7 $e^1 - c^2$	26,2 - 18 $d^2 - a^2$	16 - 14,8 $h^3 - c^3$	13,3 - 6,8 $d^3 - dis^4$
9	40	4	1,3	79 - 26,2 $g^0 - d^2$	24 - 13,3 $e^2 - d^3$	11,2 - 7,8 $e^3 - c^4$		
10	29,2	4	1,3	61,8 - 20 $c^1 - g^2$	18 - 13,3 $a^2 - d^3$	12,3 - 6,8 $f^3 - dis^4$		
11	20	4	1	49,8 - 13,3 $e^1 - d^3$	11,2 - 9,5 $e^3 - a^3$	7,1 - 5,8 $cis^4 - f^4$		
12	30	4	1,5	144 - 35 $b^{-1} - a^1$	31,5 - 18 $h^1 - a^2$	16 - 10,4 $h^2 - f^3$		

Tabelle II.

1	93	3,8	2	262 - 77 $cis^{-1} - a^0$	72 - 39,5 $b^0 - g^1$	35 - 26,2 $a^1 - d^2$		
2	93	3,8	1,5	262 - 61,8 $cis^{-1} - c^1$	55,4 - 31,5 $d^1 - h^1$	29,7 - 22,4 $c^2 - f^2$	20 - 16 $g^2 - h^2$	14,8 - 13,3 $c^3 - d^3$
3	93,5	3,8	1,2	262 - 61,8 $cis^{-1} - c^1$	55,4 - 31,5 $d^1 - h^1$	29,7 - 26 $c^2 - g^2$	18 a^2	16 - 13,3 $h^2 - d^3$

Nr.	Ausflusströhren.			Erste Tongruppe	Länge der nicht anspre- chenden Röhren	Zweite Tongruppe	Länge der nicht anspre- chenden Röhren	Dritte Tongruppe	Länge der tönenden Röhren
	Länge	Weite	Öffnung	Länge der tönenden Röhren		Länge der tönenden Röhren		Länge der tönenden Röhren	
				von: bis:	von: bis:	von: bis:	von: bis:	von: bis:	
				ctm	ctm	ctm	ctm	ctm	
4	93,4	3,8	1	254 - 61,8 $c^{10} - c^1$	55,4 - 29,7 $d^1 - c^3$	26,2 - 20 $d^3 - g^2$	18 a^3	16 - 6,8 $h^3 - dis^4$	
5	93	3,8	0,5	229 - 61,8 $d^1 - c^1$	55,4 - 29,7 $d^1 - c^2$	26,2 - 20 $d^2 - g^3$	18 - 16 $a^2 - h^3$	14,8 - 6,8 $c^3 - dis^4$	
6	43	4	1,5	144 - 29,7 $b^1 - c^2$	26,2 - 18 $d^2 - a^2$	16 - 9,5 $h^2 - a^3$			
7	43,3	4	1	114,5 - 29,7 $d^0 - c^2$	26,2 - 18 $d^2 - a^3$	16 - 8,5 $h^2 - h^3$			
8	31,5	4	1,5	144 - 22,4 $b^1 - f^2$	20 - 13,3 $g^2 - d^3$	11,2 - 6,8 $e^3 - dis^4$			
9	31,8	4	1	97,5 - 22,4 $f^0 - f^2$	20 - 13,3 $g^2 - d^3$	11,2 - 5,8 $e^3 - f^4$			
10	25,5	4	1,5	99,6 - 18 $e^0 - a^3$	16 - 9,5 $h^2 - a^3$	8 - 5,8 $h^3 - f^4$			
11	25,8	4	1	99,6 - 18 $e^0 - a^3$	16 - 9,5 $h^2 - a^3$	9 - 5,8 $b^3 - f^4$			
12	33,8	4	1	77 - 22,4 $a^0 - c^2$	20 - 14,8 $g^2 - c^3$	13,3 - 5,8 $d^3 - f^4$			

7. Aus den in den beiden vorstehenden Tabellen angeführten Versuchen ist leicht zu ersehen, daß die Dimensionen der Ausflusströhren die Höhe der mit ihren Flammen zu erzeugenden Töne wesentlich bedingen. Wenn man von einzelnen Abweichungen, welche von zufälligen Umständen, insbesondere von der verschiedenen Beschaffenheit des Wasserstoffgases in Folge der Beimengung von Luft und anderen Gasen, z. B. Kohlensäure und Hydrothionsäure, herrühren mögen¹⁾, absieht, so gewinnt man die Ueberzeugung, daß der ganze Stimm-Umfang der Flamme in demselben Verhältnisse höher rückt, als ihre Ausflusströhre verkürzt wird, daß also die mittleren Schwingungszahlen

1) Ich erkläre mir dadurch auch einige mir früher unbegreiflich gewesene Störungen und Unregelmäßigkeiten, welche eintraten, wenn ich die Versuche sehr lange ununterbrochen fortsetzte.

der mit zwei Flammen erzeugten Töne im umgekehrten Verhältnisse, und die mittlere Länge der ansprechenden Röhren im geraden Verhältnisse zu der Länge der angewendeten beiden Ausflusströhren stehen.

Die Gröfse der Oeffnung, aus welcher das brennende Gas ausliefst, hat unverkennbar den Einfluss, dass Flammen aus weiter Oeffnung zur Erzeugung der tiefen, aus enger Oeffnung zur Erzeugung der hohen Töne geeigneter sind. Wie die Versuche zeigen, welche bei gleicher oder wenig verschiedener Länge der Ausflusströhren mit Ausflussoffnungen von verschiedener Weite angestellt worden sind, namentlich die Versuche Nr. 2 bis 5, Nr. 6 und 7, Nr. 7 und 8 und Nr. 9 und 10 in Tabelle II, bleibt aber die ganze Lage des Ton-Umfangs im Wesentlichen dieselbe, wie die bei gleicher Röhrenlänge fast unveränderlich in der Aufeinanderfolge der Töne sich vorfindenden Lücken zeigen. Die Weite der Ausflussoffnung muss, wenn die Röhren gut und kräftig ansprechen sollen, zu der Weite der tönenden Röhre in einem geeigneten Verhältnisse stehen. Flammen aus enger Ausflussoffnung erregen tiefe Töne nur, wenn die Röhre im Verhältniss zur Länge eng ist, und es sind hierbei die erzeugten Töne schwach und klanglos, oft kaum hörbar.

Durch den unter Nr. 12 in Tabelle II angeführten Versuch, so wie durch einige ähnliche Versuche beabsichtigte ich zu ermitteln, ob die Gröfse des in der Flasche vorhandenen Gasvolumens auf die Entstehung und Beschaffenheit des Tons Einfluss habe. Ich habe den oben beschriebenen Gasometer-Apparat ursprünglich zu dem Zwecke construiert, damit ich, ohne an dem Ausflusrohr etwas zu ändern, während der Versuche das Gasvolumen in der Flasche bequem nach Belieben vergrößern und verkleinern konnte. Die Flasche war deshalb durch allmähliches Eingießen von je 100 Cubik-Centimeter Wasser ausgemessen und graduirt worden. Das Resultat dieser Versuche entsprach meinen ursprünglichen Erwartungen nicht; denn wenn sich auch bei den mit Abänderung des Gasvolumens in der Flasche angestellten Versuchs-Reihen insofern einige Abweichungen

zeigten, als einzelne Töne ab und zu mehr oder weniger gut ansprachen, so entstanden doch im Ganzen immer dieselben Töne, so daß der Einfluß der Oscillationen des Gases in dem Ausflusrohr jedenfalls als überwiegend anzusehen ist, wenn auch das in der Flasche vorhandene Gas mitunter an den Schwingungen Theil nehmen mag. Daß es Fälle geben kann, in welchen das Gas in der Flasche, ähnlich wie die Luft in einer kubischen Pfeife, zugleich mit dem Gase im Ausflusrohr schwingt, ist sehr wahrscheinlich; namentlich dürfte durch diese Annahme die Entstehung der tiefen Töne erklärt werden, welche auch bei Anwendung von kurzen Ausflusröhren noch ansprechen, wenn diese am Ende wenig oder gar nicht verengt sind.

Als Beleg für diese Ansicht theile ich einige mit dem Gasometer-Apparat ausgeführte Versuchsreihen mit, bei welchen das 30,5^{cm} lange und 4^{mm} weite Ausflusrohr an der Mündung nicht verengt war. Der Gasentwicklungs-Apparat war mit der Gasometer-Flasche in Verbindung, wie in dem Versuche Nr. 12, Tabelle II. In Nr. 1 der folgenden Tabelle war das Gasvolumen in der Flasche nur so groß, daß die beiden in Verbindung blieben, was nothwendig war, um einen ununterbrochenen Gaszufluß nach dem Ausflusrohr zu erhalten. Da die Aufstellung des Apparats die Anwendung sehr langer Röhren nicht gestattete, so wurden zur Erzeugung der tiefen Töne die zum Zusammenschieben eingerichteten 3,6 bis 4^{cm} weiten Röhren gedeckt angewendet. In der Tabelle ist die doppelte Länge der gedeckten Röhren angegeben.

Tabelle III.

Nr.	Ausflußröhre.		Gasvolumen in der Flasche Kubikcm.	Länge der tönenden Röhren	
	Länge cm	Weite mm		von:	bis:
1	30,5	4	klein	123,6	39,5 $c^0 - g^1$
2	30,5	4	180	182	46,5 $f^{-1} - f^1$
3	30,5	4	300	218	35 $e^{-1} - a^1$
4	30,5	4	380	246	35 $e^{-1} - a^1$
5	30,5	4	480	246	35 $c^{-1} - a^1$

Einige mit dem in Fig. 4, Taf. I abgebildeten Apparate angestellte Versuche führten auf einem anderen Wege ebenfalls zu dem Schlusse, daß bei den Dimensionen der angewendeten Ausflußröhren das unterhalb derselben befindliche Gasvolumen keinen wesentlichen Einfluß auf den Ton der chemischen Harmonika hat. Der einfache Apparat hat folgende Einrichtung. Ein gläserner Lampencylinder *aa* (Fig. 4, Taf. I) 20^{cm} lang und 2,6^{cm} weit, ist an seinem oberen Ende mit einem zweimal durchbohrten Kork *b* verschlossen, in welchen ein Gaszuleitungsrohr *dd* und ein Gaszuleitungsrohr *c* eingekittet sind. Beide Röhren ragen unter dem Kork nur wenig hervor. Ein Theil der Gaszuleitungsrohre ist mit Baumwolle verstopft. Nachdem der Apparat an einem Retortenhalter in der gehörigen Höhe befestigt ist, wird das Gaszuleitungsrohr durch eine Gummiröhre mit einem Gasentwicklungs-Apparate, oder mit der Gasometer-Flasche verbunden. Bei einem ausreichenden Zuflusse des Wasserstoffgases füllt dasselbe den Cylinder und strömt in Folge seines geringeren specifischen Gewichts mit hinreichender Geschwindigkeit aus der Spitze des Ausflußrohrs, läßt sich anzünden und bildet eine ruhig brennende Flamme, welche zur Erzeugung des Tons der Harmonika vollkommen geeignet ist. Während der Versuche

blieb die untere Oeffnung des Cylinders *aa* theils offen, theils wurde sie entweder mit einem Pfropfen dauernd geschlossen oder durch Anlegen der flachen Hand an den unteren Rand momentan gedeckt. Bei den Versuchen sprachen im Ganzen dieselben Töne an, mochte die untere Oeffnung offen oder gedeckt seyn; das Decken hatte aber die Folge, daß die Töne sicherer und kräftiger ansprachen. Ich stelle die Resultate von drei doppelten mit diesem Apparate gemachten Versuchsreihen in der folgenden kleinen Tabelle zusammen. Bei den mit den geraden Nummern bezeichneten Versuchen war die untere Mündung des Glascylinders mit einem Pfropf verschlossen, bei den übrigen war sie offen. In Nr. 1 bis 4 war der Apparat mit einem ziemlich engen Ausflusrohr von 2,2^{mm} innerer Weite und 19^{ctm} Länge versehen, in Nr. 3 und 4 war die ursprünglich kleinere Ausflußöffnung durch Abschneiden eines Theils der kegelförmigen Spitze vergrößert, in Nr. 5 und 6 war ein anderes Ausflusrohr von 4^{mm} Weite und 40^{ctm} Länge eingesetzt worden. Im Uebrigen ist die Tabelle wie die vorhergehenden eingerichtet.

Tabelle IV.

Nr.	Ausflusröhre			Untere Mündung des Cylinders	Länge der tönenden Röhren		Länge der nicht ansprechenden Röhren		Länge der tönenden Röhren	
	Länge ctm	Weite mm	Oeffnung d. Spitze mm		von:	bis:	von:	bis:	von:	bis:
1	19	2,2	0,7	offen	70	14,8				
					a^0	c^3				
2	19	2,2	0,7	gedeckt	70	20				
					a^0	g^2				
3	19	2,2	1,3	offen	99,6	20				
					e^0	g^2				
4	19	2,2	1,3	gedeckt	99,6	20				
					e^0	g^2				
5	40	4	0,6	offen	79	35	31,5	16	14,8	5,8
					g^0	a^1	h^1	h^2	c^3	f^2
6	40	4	0,6	gedeckt	79	35	31	16	14,8	5,8
					g^0	a^1	h^1	h^2	c^3	f^4

Die mit dem in Rede stehenden Apparate angestellten Versuche gaben mir Gelegenheit, noch eine für das Verständniß der chemischen Harmonika nicht unwichtige Beobachtung zu machen, zu deren Mittheilung hier der geeignetste Ort zu seyn scheint. Während der Experimente mit der chemischen Harmonika tritt der Fall nicht selten ein, daß die brennende Gasflamme einen Ton erzeugt, ohne daß eine Röhre über sie gehalten wird. Dieser Ton unterscheidet sich von dem Tone der Harmonika; er ist viel schwächer, in der Regel hoch und ändert seine Höhe. Seine Höhe ist auch von der Länge des Ausflusssrohrs abhängig, denn bei den Experimenten mit zwei gleichzeitigen Flammen über den beiden Ausflusssröhren der Woulfe'schen Flasche sprachen zwei in Beziehung auf ihre Höhe verschiedene Töne an, wenn die Ausflusssröhren ungleich lang waren. Da dieser selbstständig auftretende Ton immer zu Anfang der Versuche, wenn die Flamme zu früh angezündet wurde, oder wenn bei einer Modification des Apparats der Zutritt der Luft möglich gewesen war, entstand, so schloß ich, daß dem Wasserstoffgase in einem gewissen Verhältnisse beigemengte Luft die Ursache dieser equivoken Tonerzeugung sey. Durch Versuche mit dem beschriebenen Apparate ist diese Vermuthung zur Gewißheit geworden. Da die Explosionen in dem offenen Gaszylinder ungefährlich waren, so zündete ich theils das aus dem Ausflusssrohre strömende Gas früher an und erhielt den Ton, oder ich mäsigte den Gaszufluß nach dem Cylinder, so daß das oben aus der Spitze strömende Gas nur zum Theil ersetzt wurde, und allmählich ein Gemenge von Gas und Luft emporstieg, dessen Flamme ebenfalls selbstständig tönte, zur Erzeugung des Tones der chemischen Harmonika aber nicht geeignet war. Der Ton ist anfänglich hoch und wird allmählich tiefer, bis er schnarrend wird und beim Verlöschen der Flamme aufhört ¹⁾. Wird während der Dauer des Tones der Zufluß des Gases

1) Dieses Experiment ist von Dr. Adolf Duflos schon früher mit einem anders eingerichteten Apparate gemacht worden und in seinen »Anfangsgründen der Chemie« S. 96 beschrieben.

verstärkt, so wird der Ton zuerst höher und verstummt zuletzt. Der Gascylinder war bei diesen Versuchen mit dem längeren Ausflusrohr versehen.

Um diese Erscheinungen bequem und sicher hervorrufen zu können, habe ich mit dem Apparate noch eine einfache Einrichtung verbunden, vermöge welcher ich kleine Luftmengen in das Innere des Cylinders einführen konnte. Ich befestigte an dem horizontalen, durch eine Schiebervorrichtung hoch und niedrig zu stellenden Arm eines kleinen messingenen Gestells *ff* (Fig. 4, Taf. I) ein kurzes Glasrohr *e*, welches in einen langen, engen Faden ausgezogen worden war, und stellte diese Vorrichtung so unter den offenen Gascylinder, daß das Ende des Glasfadens sich unmittelbar unter der Mündung des Ausflusrohrs befand. Das untere offene Ende des Glasrohrs *e* wurde hierauf durch ein lauges Gummirohr mit dem Windrohr eines doppelten Blasebalgs in Verbindung gesetzt. Ich konnte auf diese Weise, indem ich den Blasebalg in Thätigkeit setzte, das aufsteigende Gas mit kleinen Quantitäten Luft mischen und den Luftzufluß wieder nach Belieben abschneiden. Die auf diese Weise herbeigeführte Beimengung von Luft bewirkte jedesmal die Entstehung jenes Tones, welcher immer in einer gewissen Tonlage allmählich tiefer wurde. Die hervortretenden Töne, welche sich immer zu wiederholen schienen, waren e^3 c^3 g^2 e^2 c^2 . Der Ton wurde in Folge größerer Luftbeimengung noch tiefer, war aber schnarrend und liefs sich nicht mehr sicher bestimmen.

Wenn man über eine selbständig tönende Flamme eine Röhre von zweckmäßiger Länge hält, so hört in einzelnen Fällen der bis dahin vernommene Ton auf, und es entsteht der Ton der chemischen Harmonika; in der Regel spricht aber die Röhre nicht an, sondern verstärkt nur durch eine gewisse Resonanz den Ton der in ihr brennenden Flamme. Durch die Beimengung von einer geringeren Quantität Luft verliert die Wasserstoff-Flamme die Fähigkeit, den Ton der Harmonika zu erzeugen, nicht, erhält dagegen eine Neigung, etwas tiefere Töne zu erzeugen, so daß in Folge der

Beimengung von Luft einzelne Röhren ansprechen, welche vorher ohne Erfolg über die reine Wasserstoffflamme gehalten worden sind, und umgekehrt. Hierin findet auch die oben bemerkte Erscheinung, daß während der Versuche nicht selten eine Aenderung des Tonumfangs der Gasflammen eintritt, ihre Erklärung. Wenn man zur Construction der chemischen Harmonika große Gasentwicklungsflaschen anwendet, so dauert es sehr lange, ehe alle Luft von dem Gase vollständig fortgeführt ist. Man experimentirt daher anfänglich mit lufthaltigem Gase und erhält mit dessen Flamme noch aus einigen längeren Röhren tiefere Töne, welche später, wenn der Luftgehalt des Gases verschwunden ist, nicht mehr ansprechen, wogegen einige kürzere Röhren nunmehr tönen, welche bei der früheren Beschaffenheit des Gases ohne Erfolg versucht wurden. Es schien mir für den Zweck dieser Untersuchung genügend, diese Thatsache zu constatiren; die Anwendung von reinem Wasserstoffgase würde die Versuche zu umständlich gemacht und für meinen Zweck nur den Vortheil herbeigeführt haben, daß eine noch bessere Uebereinstimmung der einzelnen Versuchsreihen erlangt worden wäre.

8. Um die Schwingungsweise der in der Ausflusrröhre während der Erzeugung des Tons oscillirenden Gassäule wo möglich noch näher kennen zu lernen, schien es nothwendig, das Verhalten der Flammen zur Tonerzeugung auch in dem Falle zu untersuchen, wo die Ausflusrröhre von der Gasentbindungsflasche so getrennt ist, daß die Oscillationen des ausströmenden Gases vollständig isolirt werden. Die Verengung des unteren Endes der Ausflusrröhre hat, wie die Vergleichung der Versuche Nr. 6 und 8 in Tabelle I zeigt, keinen wesentlichen Einfluß auf die Entstehung und die Höhe des Tons. Dagegen tritt ein ganz anderes Verhalten der Flamme zu der Tonerzeugung ein, wenn man die untere Mündung der Ausflusrröhre durch einen porösen Körper verschließt, welcher das Gas durchläßt, die Oscillation des Gases aber auf die Ausflusrröhre beschränkt. Man kann zu diesem Zwecke das Ausflusrohr zum Theil mit

feinem Sande füllen, oder in dasselbe einen passenden Cylinder aus recht porösem Holze, z. B. ein Stück spanisches Rohr, einkitten. Ich habe das möglichst einfache Verfahren angewendet, indem ich die Ausflusssäule mit dickem baumwollenen Lampendochte ausstopfte. Um die Länge der oscillirenden Gassäule zu verändern, wurde die Stopfung allmählich zurückgezogen und unten abgeschnitten, wodurch die Versuche allerdings sehr zeitraubend wurden, weil die Ausflusssäule hierbei jedes Mal von der Gasentwicklungs-Flasche abgenommen werden mußte. Da eine dichte Stopfung von einigen Centimetern Länge vollständig hinreicht, um die Oscillationen der über derselben befindlichen Gassäule zu isoliren, so wurden bei den späteren Versuchen kürzere Stopfungen in den Ausflusssäulen in die Höhe gestossen oder gezogen und nach jeder Versuchsreihe mit einem daran befestigten Faden nach Maßgabe eines angelegten Maßstabes zurückgezogen ¹⁾).

Die aus einem in der angegebenen Weise gestopften Ausflusssäule hervortretenden Flammen zeigen schon äußerlich in mancher Beziehung ein eigenthümliches Verhalten. Sie sind weniger beweglich und weniger empfindlich für Geräusche und Erschütterungen und erlöschen daher auch, selbst wenn sie sehr klein sind, nicht so leicht als die gewöhnlichen Flammen. Man kann ziemlich stark nach den Flammen blasen und daher das oben erwähnte Hilfsmittel der Tonerregung dreist anwenden, ohne das Erlöschen der Flamme fürchten zu müssen. Wenn die Stopfung der Aus-

1) Sollte ich einen Apparat construiren, mit welchem dieselben Versuche sich bequemer wiederholen ließen, so würde ich die Stopfung an einen Draht befestigen und mit demselben entweder aus freier Hand oder mit einer Zahnstangen-Vorrichtung auf und ab schieben. Das Ausflusssäule kann bei dieser Einrichtung natürlich nicht unmittelbar auf die Gasentwicklungs-Flasche gesetzt werden, sondern würde sich über einem von einem geeigneten Stative getragenen kleinen cylindrischen Gefäße befinden, in welches das Gas geleitet wird und durch dessen Boden der die Stopfung führende Draht hindurch geht. Eine sorgfältig gearbeitete Stopfbüchse würde nicht einmal nothwendig seyn, da die Dichtung durch eine den Boden des Gefäßes bedeckende Schicht Wasser oder Quecksilber hergestellt werden kann.

flußröhre bis an ihre Mündung reicht, so verliert, wie schon oben aus einander gesetzt worden ist, die Flamme die Fähigkeit, den Ton der chemischen Harmonika zu erzeugen, gänzlich; wird nun allmählich die Stopfung zurückgezogen, so sprechen zuerst nur einige hohe Töne an als Grundtöne oder Flageolettöne der über die Flamme gehaltenen Röhren. Je länger die freie Gassäule wird, desto größer wird auch der Umfang der Töne und desto längere Röhren sprechen an. Wie weit man die Stopfung zurückziehen muß, ehe die kleinsten Röhrchen ansprechen, hängt von der Größe der Ausflußöffnung ab. Bei einer Mündung des Ausflußrohrs von 2^{mm} Durchmesser mußte die Gassäule zwischen der Spitze und der Stopfung eine Länge von 18^{cm} haben, bevor kurze Röhren von 17,5 bis 6,8^{cm} Länge, während über ihren Rand geblasen wurde, tönten, und erst bei einem dem Gase in der Ausflußröhre freigelassenen Raume von 20^{cm} Länge sprachen Röhren von 12,3 bis 9,5^{cm} Länge ohne jedes Hilfsmittel der Tonerregung an. Wenn die Ausflußöffnung kleiner ist, so nehmen schon kürzere Gassäulen die zur Tonerzeugung erforderlichen Schwingungen an. Bei einer kleinen Ausflußöffnung von etwa 0,5^{mm} Durchmesser gelang es schon, als die Stopfung 6^{cm} von der Spitze entfernt war, mehrere kleine Röhrchen von 7,8 bis 4,3^{cm} Länge durch Anblasen zum Tönen zu bringen. Dabei gab eine Röhre von 7,8^{cm} Länge den Grundton c^4 nur unvollkommen und unsicher, viel besser aber die Octave c^5 an, und ein 6,8^{cm} langes Röhrchen gab eben so gut dis^4 als dis^5 . Nachdem die Stopfung 9^{cm} von dem Ende des Ausflußrohrs zurückgezogen worden war, sprachen die Töne a^3 bis f^4 in Röhren von 10,5 bis 5,5^{cm} Länge selbstständig an.

Die höheren Töne, welche unter den angegebenen Verhältnissen entstehen, sind kräftig und schreiend, selbst wenn sie nur durch Anblasen der Röhrenmündung erhalten werden können; dagegen ist den noch in dem Umfange der Flamme des gestopften Ausflußrohrs liegenden tieferen Tönen eine gewisse Mattigkeit und Klanglosigkeit eigenthüm-

lich. Die längsten Röhren, welche noch ansprechen, geben überdies nicht denselben Ton, welchen sie sonst über für sie geeigneten Flammen erzeugen, sondern einen manchmal um eine Sekunde oder Terz höheren. Daher steht das Tieferwerden des Tons bei Anwendung von längeren Röhren zuletzt nicht mehr im Verhältnisse zu der Verlängerung der tönenden Röhre. Am auffallendsten wird diese offenbar durch die Tendenz der Gassäule, schneller zu schwingen, herbeigeführte Erhöhung des Tons, wenn man Röhren anwendet, welche sowohl offen als gedeckt über den Flammen tönen. Wenn der Grundton der gedeckten Röhre nahe an der Gränze des Tonumfangs der Flamme nach der Tiefe hin liegt, so ist derselbe nicht die Octave des Tons der offenen Röhre, sondern bedeutend höher. Unter günstigen Umständen kann das durch Decken der Röhre zu erhaltende Intervall durch die Erhöhung des tieferen Tons zu einer Sext, ja wohl sogar zu einer Quint werden. Diese durch den Einfluß der Flamme bewirkte Veränderung des Tons der Klangröhren war anfänglich ganz geeignet, den Beobachter irre zu führen und so zu verwirren, daß er manchmal fürchtete, seinem Ohre nicht mehr trauen zu dürfen.

Die Flamme muß bei diesen Versuchen klein seyn, wenn die Röhren von selbst ansprechen sollen. Zur Erzeugung der höchsten Töne wurden oft so kleine Flammen angewendet, daß sie vollständig unsichtbar waren und ihre Existenz nur noch durch die Erzeugung des Tons zu erkennen gaben. Will man durch Blasen der Tonerzeugung zu Hülfe kommen, so ist es zweckmäßig, etwas größere Flammen anzuwenden. Der durch diese Hülfe erzeugte Ton, welcher bei Anwendung nicht gestopfter Ausflußröhren oft nach seiner Entstehung selbstständig fort dauert, spricht hier nur während des Anblasens der Röhre an, auch wenn er schon durch einen leisen Hauch erregt wird und sehr kräftig ist.

Bei den Versuchen, deren Resultate in der folgenden Tabelle zusammengestellt sind, wurde die oben erwähnte Woulfe'sche Flasche als Gasentwicklungs-Apparat gebraucht. Die mit der Stopfung versehenen Ausflußröhren hatten schon

bei den oben angegebenen Versuchen als offene Röhren gedient. Das Ausflusrohr in den Versuchen Nr. 1 bis 10 war dasselbe, welches in den Versuchen Nr. 1 bis 5 der Tabelle II angewendet wurde. Die Ausflussspitzen wurden auch hier auf das Ende der Röhre mit Hülfe eines passenden Gummirohrs stumpf aufgesetzt. Die in einem baumwollenen Dochte bestehende Stopfung wurde mittelst eines dünnen Fadens im Verlaufe der Versuche allmählich in die Höhe gezogen. Beim Aufsetzen der Glasspitze wurde das die Verbindung herstellende kurze Gummi-Rohr über das Aufsen herunterhängende Ende des straff angezogenen Fadens gestülpt. Der dünne Faden im Rohre übte auf den Ton der Harmonika keinen störenden Einfluss aus. Das Ausflusrohr in Nr. 11 bis 21 ist bei dem Versuche Nr. 5 der Tabelle I gebraucht worden. Als Stopfung diente ein etwa 10^{cm} langes Stück Docht, welches vor dem Beginn der Versuche mit Hülfe eines Fadens, welcher, nachdem er seinen Zweck erfüllt, heraus genommen wurde, bis in die Nähe der Mündung gezogen worden war. Während der Versuche wurde diese Stopfung mit einem an ihrem unteren Ende befestigten Faden allmählich zurückgezogen. Das Ausflusrohr in den Versuchen Nr. 22 bis 32 ist das in Nr. 11, Tabelle I gebrauchte, dessen Mündung aber bis auf 0,5^{mm} zusammengeschmolzen war. Die Stopfung wurde mit einem Stäbchen zuerst in die Höhe geschoben und mit einem Faden allmählich zurückgezogen. Die ersten vier Columnen der Tabelle V enthalten dieselben Angaben wie die früheren Tabellen. In der fünften Columnne ist die jedesmalige Entfernung der Stopfung von der Spitze des Ausflusrohrs, also die Länge der in demselben freien Gassäule, in Centimetern angegeben. Wenn der von der Stopfung freigelassene Theil der Ausflusröhre groß genug ist, so erhält man mit der Flamme, wie bei der Anwendung von ganz offenen Ausflusröhren, in der Aufeinanderfolge der ansprechenden Töne ein Paar Gruppen, zwischen welchen einige Töne fehlen. Ich habe in den beiden folgenden Columnen nur die Länge der ansprechenden Röhren vermerkt, da sich

daraus die Länge der nicht ansprechenden Röhren von selbst ergibt. Die unter den Röhrenlängen bezeichneten Töne stimmen nicht vollständig mit der Bezeichnung der Töne in den früheren Tabellen überein, weil hier auf die oben erwähnte Veränderung der Tonhöhe Rücksicht genommen worden ist. Von den bei diesen Versuchen vielfach vorkommenden Flageolettönen ist nur einer in Nr. 31 und 32 mit angeführt, nämlich *dis*⁵ als Ton 2 einer 6,8^{ctm} langen Glasröhre, weil derselbe über die Grundtöne der mit denselben Flammen ansprechenden Röhren hinausreichte und überdies wahrscheinlich der höchste Ton der chemischen Harmonika war, der beobachtet worden ist. Die Länge der Röhren, welche nur in Folge des Anblasens tönend, ist mit einem Sternchen bezeichnet, da bei diesen Versuchen eine solche Unterscheidung nützlich schien.

Tabelle V.

Nr	Ausfluß- röhre.		Weite d. Aus- fluß- Oeff- nung mm	Entfer- nung der Stopfung von der Spitze ctm	Erste Tongruppe.		Zweite Ton- gruppe.	
	Länge ctm	Weite mm			Länge der tönenden Röhren		Länge der tönenden Röhren	
					von:	bis:	von:	bis:
					ctm		ctm	
1	93	3,8	2	85	79 — 31,5		18 — 14,8	
					<i>g</i> ⁰ — <i>h</i> ¹		<i>a</i> ² — <i>c</i> ³	
2	93,4	»	1	85,4	55,4 — 29,7		18 — 13,3	
					<i>d</i> ¹ — <i>c</i> ²		<i>a</i> ² — <i>d</i> ³	
3	93	»	2	82	70 — 35		18 — 14,8	
					<i>a</i> ⁰ — <i>a</i> ¹		<i>a</i> ² — <i>c</i> ³	
4	93,4	»	1	82,4	59,4 — 29,7		18 — 13,3	
					<i>cis</i> ¹ — <i>c</i> ²		<i>a</i> ² — <i>d</i> ³	
5	93	»	2	78	59,4 und 55,4 — 31,5			
					<i>d</i> ¹ — <i>h</i> ¹			
6	93,4	»	1	78,4	59,4 und 55,4 — 29,7		18 — 13,3	
					<i>d</i> ¹ — <i>c</i> ²		<i>a</i> ² — <i>d</i> ³	
7	93	»	2	73	63 und 55,4 — 29,7			
					<i>d</i> ¹ — <i>c</i> ²			
8	93,4	»	1	73,4	52,4 und 49,8 — 26,2		16 — 13,3	
					<i>e</i> ¹ — <i>d</i> ²		<i>h</i> ² — <i>d</i> ³	
9	93	»	2	68	59,4 und 49,8 — 24			
					<i>e</i> ¹ — <i>e</i> ²			

Nr.	Ausfluß- röhre.		Weite d. Aus- fluß- Oeff- nung	Entfer- nung der Stopfung von der Spitze	Erste Tongruppe.		Zweite Ton- gruppe.	
	Länge	Weite			Länge der tönenden Röhren	von: bis:	Länge der tö- nenden Röhren	von: bis:
	ctm	mm	mm	ctm	ctm		ctm	
10	93,4	3,8	1	68,4	49,8 — 46,5 — 22,2	$f^1 - f^3$	14,8 — 10,4	$c^3 - f^3$
11	59	5	2	50	39,5 — 18	$g^1 - a^2$	12,3 — 9	$f^3 - a^3$
12	"	"	"	36	39,5 — 20	$g^1 - g^2$		
13	"	"	"	33	35 — 17,5	$a^1 - h^3$		
14	"	"	"	30	22 — 11,4	$g^2 - f^3$		
15	"	"	"	26	24 — 11,4	$e^3 - f^3$		
16	"	"	"	24	21 — 9,5	$g^{1,2} - a^3$		
17	"	"	"	22	21 — 11,4	$a^2 - f^3$		
18	"	"	"	21	17,5 — 9,5	$h^2 - b^3$		
19	"	"	"	20	17,5* und 12,5 — 7,8	$h^2 - f^3 - c^4$		
20	"	"	"	19	17,5* — 7,8*	$h^2 - c^4$		
21	"	"	"	18	17,5* — 6,8*	$h^2 - d^4$		
22	20	4	0,5	16	17 — 5,5 und 4,5*	$h^2 - f^4 - a^4$		
23	"	"	"	15	16,2 — 5,5 und 4,5*	$c^3 - f^4 - a^4$		
24	"	"	"	14	16,2 — 5,5 und 4,5*	$e^3 - f^4 - a^4$		
25	"	"	"	13	14,6 — 5,5 und 4*	$c^{1,3} - f^4 - h^4$		
26	"	"	"	12	12,3 — 5,5 und 4*	$f^3 - f^4 - h^4$		
27	"	"	"	11	12,3 — 5,5 und 4*	$g^3 - f^4 - h^4$		

*) Die *Röhren sprechen nur mit Nachhülfe an.

Nr.	Ausflus- röhre.		Weite d. Aus- flus- Oeff- nung	Entfer- nung der Stopfung von der Spitze	Erste Tongruppe.		Zweite Tongruppe.	
	Länge ctm	Weite mm			Länge der tönenden Röhren		Länge der tön- enden Röhren	
			mm	ctm	von:	bis:	von:	bis:
					ctm		ctm	
28	20	4	0,5	10	12,3 — 5,5	und 4,3*		
					g^3 — f^4	b^4		
29	"	"	"	9	10,5 — 5,5	und 4,3*		
					a^3 — f^4	b^4		
30	"	"	"	8	9* — 4,3*			
					b^3 — b^4			
31	"	"	"	7	7,8* — 4,3* und $\frac{1}{2}$. 6,8*			
					c^4 — b^4	dis^5		
32	"	"	"	6	7,8* — 4,3* und $\frac{1}{2}$. 6,8*			
					c^4 — b^4	dis^5		

Um einem Mißverständnisse vorzubeugen, muß ich zu-
nächst bemerken, daß das Röhrchen von 4^{ctm} Länge bei
den Versuchen Nr. 28 bis 32 nicht zur Hand war und
daher nicht über der Flamme geprüft worden ist. Ich
zweifle nicht, daß dieses kürzere Röhrchen auch bei die-
sen Versuchen durch Anblasen zum Ansprechen gebracht
worden wäre.

Die Vergleichung der vorstehenden Tabelle mit den
beiden ersten Tabellen, insbesondere mit Nr. 5 und 11 in
Tabelle I und Nr. 1 und 4 in Tabelle II, zeigt, wie gro-
ßen Einfluß die Absperrung der Ausflusrröhre von dem
Gasvolumen in der Gas-Entbindungsflasche auf die Höhe
der durch die Flamme erzeugten Töne hat. Die bei An-
wendung offener Ausflusrröhren ansprechenden tiefsten Töne
fallen in Folge der Stopfung gänzlich weg, selbst wenn die
Ausflusrröhre so lang ist, daß sich in ihr oberhalb der
Stopfung noch eine Gassäule von der Länge befindet, welche
sonst für die Erzeugung tiefer Töne ausreichte. Der Um-
fang der mit der Flamme ansprechenden Töne wird durch
die Stopfung der Ausflusrröhren sehr beschränkt; er be-
trägt selten erheblich über eine Octave, ist dagegen oft
kleiner. Wenn das Ausflusrohr lang und die Stopfung
von der Ausflusöffnung weit zurückgezogen ist, so entste-

hen auch hier außer den Tönen, welche gewissermaßen das erste Register des Anblaserohrs bilden, noch einige höhere Töne, welche von den ersten durch eine Lücke getrennt sind. Die Vergleichung der homologen Gränztöne scheint darauf hinzudeuten, daß die Flamme einer durch Stopfung begränzten Gassäule sich in Beziehung auf die Lage jener Lücken ungefähr so verhält, wie eine Flamme über einer halb so langen nicht gestopften Ausflusröhre. Die Lage der Töne einer Flamme über einer begränzten Gassäule ändert sich mit der Länge des freigelassenen Raums zwischen der Ausflußöffnung und der Stopfung in der Weise, daß die ansprechenden Töne im Ganzen um so höher sind, je kürzer die mit der Flamme oscillirende Gassäule in der Ausflusröhre ist. Die mittlere Länge der über solchen Flammen tönenden Röhren ist ungefähr der Länge des von der Stopfung frei gebliebenen Theils der Ausflusröhre proportionirt.

(Schluß im nächsten Hest.)

II. *Ueber eine Methode den Schwingungsvorgang sichtbar zu machen so wie deren Anwendung bei glockenförmigen Flächen; von F. Melde.*

Aus Gründen, die mir die bisherige Ansicht über die Lage der *äußeren* Schwingungsknoten bei glockenförmigen Flächen unstatthaft erscheinen ließen, unternahm ich eine Untersuchung über die Schwingungen solcher Flächen.

In dieser Absicht suchte ich zunächst nach einem Mittel, welches eine genauere Einsicht in den Schwingungsvorgang bei derartigen Flächen gestattete, als die, welche bis jetzt bekannt waren, und fand dasselbe in einem dünnen *Kalküberzug*.

Hiermit gelang es mir, eine umfassendere Ansicht über Knotenlinien auf Flächen im allgemeinen zu gewinnen, indem ich neben jenen, bis jetzt nur beachteten Knotenlinien, welche sich durch aufgestreuten Sand oder sonst ein Mittel sichtbar machen lassen, eine zweite Art entdeckte, wo dies nicht der Fall. Für erstere wählte ich daher den Namen *bedeckte*, für letztere den Namen *unbedeckte* Knotenlinien.

Außerdem gelang es mir, eine dritte Art von Linien kennen zu lernen, welche bisher irrthümlich für Knotenlinien gehalten wurden, und denen ich daher den Namen *Pseudoknotenlinien* beilegte.

§. 1.

Das Hinderniß, welches bis jetzt in der Beurtheilung des Schwingungsvorgangs *krummer* Flächen stattfand, liegt darin, daß man nicht wie bei ebenen im Stande gewesen, auf eine genügende Art die Knotenlinien sichtbar zu machen, fernerhin, daß man kein Mittel kannte, um für das Auge ein bleibendes Bild zu liefern von den Bahnen, auf welchen bewegliche Körperchen über die Fläche hinwandern, wie es für ebene Flächen gelingt.

§. 2.

Sich bei krummen Flächen des *trockenen* Sandes zu bedienen, zu Sichtbarmachung der Knotenlinien, ist aus mehreren Gründen unmöglich. Man bediente sich deshalb schon lange des *angefeuchteten* Sandes, den man über die Fläche streicht, und der beim Schwingen dieser in Bewegung geräth, ohne abgeschleudert zu werden.

Als weiteres Mittel, die Schwingungsknoten bei glockenförmigen Flächen sichtbar zu machen, wählte man Flüssigkeiten, wie Quecksilber, Wasser oder Oel, die bis zu einer beliebigen Höhe in die betreffenden Gefäße gegossen, beim Anstreichen dieser letzteren eigenthümliche Wellenbewegungen auf der Oberfläche zeigen. Dieses Mittel kann jedoch nur die Schwingungsknoten eines einzigen Querschnitts der Glocke für das Auge erkennbar machen, dagegen ist es unmöglich, auf diese Weise die Knotenlinien ihrer ganzen Länge nach zu bezeichnen.

Endlich als letztes, aber auch am wenigsten geeignetes Mittel, in dieser Weise Aufschluss zu erhalten, gelten die kleinen Kügelchen von Siegelack oder einem ähnlichen Körper, die man, an einem Faden aufgehängt, über die Flächen herführen könnte, um die Stellen der Schwingungs-Maxima und Minima zu finden.

§. 3.

Bei vorliegender Untersuchung habe ich mich keines dieser letzteren Mittel bedient, sondern nur den angefeuchteten Sand benutzt, jedoch in einer anderen Weise wie bisher. Bevor ich aber diese Verfahrensart näher angebe, mögen als Vorbereitung einige Betrachtungen über die bei schwingenden Klangscheiben thätig werdenden Kräfte vorausgeschickt werden.

§. 4.

Wenn man eine Klangscheibe zum Tönen bringt, so wird ein auf derselben befindliches Mittel, wie etwa Sandkörner, von zweierlei Kräften bewegt werden: erstens von solchen die *normal* zur Fläche, zweitens von solchen, die *parallel* derselben ihre Wirkung äußern, welche letztere von der Ausdehnung und Zusammenziehung der Flächenelemente herrühren.

§. 5.

Denken wir nun, es befände sich auf dem Flächenelemente a (Fig. 7^a, Taf. I) ein Sandkörnchen, so wird dasselbe, sobald die Scheibe schwingt, zugleich angegriffen werden von einer Normalkraft von bestimmter Intensität, und einer Tangentialkraft von bestimmter Richtung und Intensität, je nachdem das Element a eine Lage auf der Fläche einnimmt.

Nennen wir die erstere Kraft n die letztere t , so wird das Sandkörnchen von einer Kraft, welche der Resultirenden von n und t gleich ist, schief in die Höhe geschleudert werden, oder schief nach abwärts fallen, je nachdem die Scheibe in ihrer Ausbeugung nach oben oder unten gedacht wird. Wir berücksichtigen jedoch nur ersteres, ohne das das folgende in seiner Allgemeinheit beeinträchtigt würde.

Ist nun das Körnchen in die Höhe geschleudert, so wird es in einem kleinen Bogen wieder zur Fläche herabfallen, und zwar nicht auf einen beliebigen Punkt derselben, sondern einen ganz bestimmten, der einmal liegt in der Linie, welche die Richtung der Kraft t bezeichnet, und sodann in einer Entfernung von a , deren Gröfse abhängt von n und t sowie von der Masse des Sandkörnchens. Gesetzt a_1 (Fig. 7^a Taf. I) sey ein solches zweites Flächenelement, so würde a_1 die Richtung der Kraft t seyn. Auf a_1 angelangt, unterliegt das Körnchen der Einwirkung zweier neuen Kräfte n_1 und t_1 , vermöge derer es wiederum auf ein ganz bestimmtes drittes Element a_2 gelangt und a_1, a_2 wird die Richtung der Kraft t_1 seyn. Man begreift, dafs dieser Vorgang in ähnlicher Weise sich wiederholen kann.

§. 6.

Gesetzt nun die Einwirkung der Kräfte n, n_1, \dots , sowie t, t_1, \dots , sey möglichst klein, so wird das Sandkörnchen in entsprechend kleinen Bogen in die Höhe geschleudert werden; die Punkte a, a_1, a_2, \dots , werden dann sehr nahe zusammenrücken, und die Stücke a, a_1, a_2, \dots (Fig. 7^b, Taf. I) werden als die Elemente einer ganz bestimmten Curve angesehen werden können. Die so entstanden gedachten Curven werde ich im folgenden mit dem Namen *Bewegungscurven* bezeichnen.

§. 7.

Es leuchtet ein, dafs wenn wir im Stande sind, die Gestalt dieser Curve zu erkennen, oder gar ein Mittel besitzen, durch welches sie für das Auge *bleibend* sichtbar gemacht werden, wie diefs für Knotenlinien gilt, hierdurch für die Beurtheilung des Schwingungsvorgangs ein Bedeutendes gewonnen ist.

§. 8.

Wendet man in dieser Absicht ein *gröberes* Mittel an, wie etwa Quarzsand, so wird man sich sofort überzeugen, dafs es für das Auge unmöglich ist, den Weg zu verfolgen, den ein Sandkörnchen während des Schwingens der Scheibe beschreibt, um zu einer Knotenlinie zu gelangen. Denn

einmal ist die Einwirkung der Kräfte, selbst wenn der Ton von möglichst geringer Intensität ist, auf solche Mittel, wie Sand, zu heftig, und weiterhin sind Sandkörnchen zu unregelmäßige Körperchen, als daß sie in jeder beliebigen Lage auf der Scheibe in gleicher Weise von den Kräften angegriffen würden. Das Auge kann daher in der Bewegung solcher Körperchen nur ein verworrenes Hüpfen erkennen.

§. 9.

Anders verhält es sich aber, wenn man ein *feines* Pulver, wie z. B. *Lycopodium* anwendet. Ist nämlich die Bewegung der Scheibe nicht zu heftig, so sieht man, wie um die Gegend der Vibrationscentra sich kleine halbkugelförmige Häufchen bilden, die von diesen Stellen langsam nach den Knotenlinien wandern, und dem Auge gestatten, sie ohne Mühe zu verfolgen. Ja die Adhäsion des *Lycopodium*-staubs an die Glas- oder Metallscheibe bewirkt sogar, daß diese Häufchen eine bleibende Spur zurücklassen, so daß alle in §. 7 ausgesprochene Wünsche erfüllt sind.

§. 10.

Um diese Bewegungscurven schön zu erhalten, empfiehlt Strehlke (Repertorium der Physik von Dove und Moser Bd. III, S. 126) ein zusammengesetztes Pulver, bestehend aus: 24 Theilen Fernambuk, 12 Theilen Alaun, 12 Theilen Bimsstein, einem kleinen Antheil von weißem Fischbein, Veilchenwurzel und einigen Tropfen Bergamottöl. Die Figuren 43 bis 47 Tab. II in der erwähnten Schrift stellen die Bewegungscurven dar, welche mit diesem zusammengesetzten Pulver erhalten wurden. Ich habe dieses Pulver auch angewandt, konnte es jedoch nicht viel brauchbarer finden als *Lycopodium*.

§. 11.

Wir haben somit ein Mittel, um die Bewegungscurven auf *ebenen* Klangscheiben sichtbar und bleibend zu machen. Daß man dasselbe Mittel zu dem genannten Zwecke auch bei *krummen* Flächen anwenden könnte, wird Jedermann verneinen, und ich suchte daher nach einem anderen, was namentlich bei glockenförmigen Flächen, auf die sich die

weitere Untersuchung speciell bezieht, eine vortheilhafte Anwendung gestattet.

Zu dem Ende nahm ich etwas gelöschten Kalk, und rührte denselben mit reinem Wasser zu einer dünnen Milch an. Taucht man in diese einen dicken Pinsel, und bestreicht die Wände einer gewöhnlichen Glasglocke, so wird Sand, auf diese so befeuchteten Flächen gestreut, daran haften. Streicht man nun die Glocke mit dem Violinbogen an, oder bringt sie auf eine später erläuterte Weise zum Tönen, so sieht man sofort, wie der Sand sich über die Fläche hinbewegt, um sich an die Ruhestellen zu begeben.

War nun der Flüssigkeitsüberzug regelmäsig, war das Wasser desselben schon hinlänglich verdunstet, so wird man weiter sehen, wie die einzelnen Sandkörner, oder auch kleine Sandanhäufungen bogenartige Furchen in dem kaligen Ueberzug zurücklassen. Sollte man diese Curven nicht sofort erkennen, so ist es ein Beweis, dafs die Oberfläche noch zu nafs war. Man bestreue dann dieselbe mit neuem Sande und man wird, sollte es auch jetzt noch nicht gelungen seyn, es doch beim dritten oder vierten Mal dahin bringen. Hierbei sah ich immer die Curven am deutlichsten entstehen, wenn möglichst wenig Sand aufgestreut wurde.

§. 12.

Anstatt eine so bereitete Kalkmilch anzuwenden, um die Oberfläche zu überziehen, kann man auch eine andere gefärbte Flüssigkeit gebrauchen z. B. Tinte; mir schien aber ersteres Mittel das beste zu seyn, von denen, die ich bis jetzt geprüft. Dafs der Ueberzug eine gewisse Farbe besitze, ist deshalb nöthig, damit die von den Sandkörnern eingegrabenen Furchen gegen die Zwischenlagen des eingetrockneten Ueberzuges mehr abstechen.

§. 13.

Dieselbe Methode kann man auch bei *ebenen* Scheiben anwenden, wiewohl weniger erfolgreich als bei glockenförmigen Flächen. Man wird auch hier die bogenartigen Furchen erhalten, welche der Sand bei seiner Bewegung ein-

gräbt und die hier wie dort noch deutlicher hervortreten, wenn der kalkige Ueberzug vollkommen trocken geworden.

§. 14.

Als ich nun diese so erzeugten Curven auf ebenen Scheiben verglich mit denen, welche die *Lycopodium*-Häufchen bei ihrer Fortbewegung beschreiben, so fand ich sie ihrer Form nach vollständig identisch, wie ich von vornherein erwarten konnte. Die Bahnen nämlich, welche die Sandkörner im kalkigen Ueberzug zurücklassen, sind nichts anders als die *Bewegungscurven* derselben. Die Voraussetzungen, welche für das Entstehen dieser Curven im §. 6 gemacht wurden, gelten ganz für diesen Fall. Bei den *Lycopodium*-Häufchen war es die eigenthümliche Natur dieser Häufchen, so wie ihre Adhäsion an die Fläche, welche nur ein langsames Fortrücken als Wirkung der Kräfte gestattete. Ferner nun bei den Sandkörnern, welche ihre Bahnen in den kalkigen Ueberzug eingraben, ist es die Flüssigkeit, welche die Sandkörner an die Fläche fesselt und so die Einwirkung der Normalkräfte fast ganz aufhebt, während sie ebenso die Bewegung parallel der Fläche verlangsamt.

§. 15.

Es leuchtet somit ein, daß wir in dem kalkigen Ueberzug und dem darauf gestreuten Sand ein Mittel erhalten haben, um die Bewegungscurven auf krummen Flächen überhaupt darzustellen. Denn wenn ich bis jetzt diese Methode auch nur bei glockenförmigen Flächen anwandte, so bin ich doch nicht einen Augenblick zweifelhaft, daß sie bei beliebig gestalteten Flächen ihre Anwendung finden kann, vorausgesetzt, daß die Töne, welche die Flächen geben, hinlänglich intensiv sind. Denn daß die Curven bei ebenen Flächen weniger gut gelingen wie bei glockenförmigen scheint mir nur darin zu liegen, daß die Intensität des Tons dort weit weniger lebhaft ist.

§. 16.

An dieser Stelle muß mit allem Recht erinnert werden an jene interessanten und wichtigen Beobachtungen, welche

Strehlke in diesen Annalen (Bd. XXXX, S. 146 u. f.) schon im Jahre 1837 bekannt machte. Er sagt nämlich:

»Bei dem Aufstreuen von Sand oder Lycopodium gehen diese bewegten Körper zu schnell an die ruhenden Stellen, als dafs das Auge Zeit hätte, den Verlauf der Erscheinung zu verfolgen. Das folgende einfache Mittel gestattet, die Bewegung der schwingenden Fläche an einer bestimmten Stelle längere Zeit hindurch zu beobachten. Man bringt zu diesem Ende Lycopodium auf eine Wasserfläche, am besten, indem man die durchlöchernte Büchse, welche dasselbe enthält, mit einem feinen Gewebe überbindet, doch darf die Wasserfläche nur so überstäubt werden, dafs das Lycopodium überall eine nur wenig zusammenhängende Fläche darstellt. Darauf taucht man eine Schreibfeder oder eine dünne Thermometerröhre in das Wasser, und bringt damit Tropfen hervor an den Stellen der Körper, deren Bewegung beim Tönen untersucht werden soll. Sobald die Vibrationen beginnen, zeigen sich lebhafte Bewegungen in den halbkugelförmigen Erhöhungen, welche die Wassertropfen auf den schwingenden Flächen bilden. Ist die Erregung nicht gar zu mächtig, so zerfällt die Bewegung der Tropfen in zwei Wirbel von der Form Fig. 8, Taf. I. Die Scheidegränze *AB* der beiden Wirbel zeigt die Richtung der an dieser Stelle parallel zur Oberfläche gehenden Bewegung an.«

§. 17.

Zunächst mufs ich nun erwähnen, dafs Strehlke diese Tropfen ohne Zweifel nur immer auf Metallscheiben hervorbrachte. Ist die Scheibe dagegen von Glas, so gelingt dies sehr schlecht, da die Tropfen sich sofort ausbreiten. Ueberzieht man jedoch vorher die Fläche mit Schellackfirnis, so gelingt es eben so gut wie auf Metall.

Weiterhin wird man einsehen, dafs das Hervorbringen dieser Tropfen sich nicht etwa auf *ebene* Flächen beschränkt, sondern ebenso möglich ist bei krummen. Nur wird man bei letzteren, der Fläche eine solche Stellung ge-

ben müssen, daß die Flächenelemente, worauf die Tropfen hervorgebracht werden sollen, in eine horizontale Lage kommen, damit der Tropfen nicht sofort herunterfließt.

§. 18.

Wir haben demnach in diesen Tropfen ein äußerst genaues Mittel, um die Richtung der Tangentialkräfte für jeden beliebigen Punkt einer schwingenden Fläche sichtbar zu machen.

§. 19.

Ich brachte nun auf die im §. 11 erläuterte Weise auf einer ebenen wie einer glockenförmigen Fläche die Bewegungscurven möglichst schön hervor, und zeichnete bei ersterer, um hierbei zu bleiben, die Bewegungscurven mit einem Bleistift nach. Gesetzt nun CD Fig. 9*, Taf. I stelle eine solche Bewegungscurve vor, so brachte ich weiter längs ihr in möglichst kleinen Abständen die Strehlke'schen Tropfen hervor und zwar so, daß deren Mittelpunkte alle über der Curve CD lagen. Wurde nun die Scheibe zum Tönen gebracht, so stellte sich die Erscheinung ein, welche durch die Fig. 9*, Taf. I erläutert ist. Nämlich die Wirbelbewegungen in den Tropfen waren so, daß die Scheidegränze derselben mit dem Elemente der darunter befindlichen Curve der Richtung nach zusammenfiel.

Dieses Experiment belehrte mich sofort über den Zusammenhang der Wirbelbewegungen mit den Bewegungscurven und es war für mich nur eine bildliche Nachweisung dessen, was ich nach der gegebenen Definition der Bewegungscurven, sowie der Natur der Wirbelbewegungen erwarten mußte. Denn die Curvenelemente $a a_1, a_1 a_2 \dots$ in §. 5 sind ja nichts anderes, als die Richtungen in denen die der Fläche parallelen Kräfte thätig sind, folglich müssen diese Curvenelemente mit den betreffenden Scheidegränzen der Wirbelbewegungen der Richtung nach identisch seyn.

§. 20.

Eine Knotenlinie ist eine solche Linie, welche die Punkte der Fläche enthält, die bei der Schwingung letzterer in Ruhe bleiben. Diefes ist aber nur möglich, wenn in dieser

Linie sich *alle* Kräfte aufheben, d. h. es müssen sich unter einander aufheben

erstens: die Normalkräfte

zweitens: die Tangentialkräfte.

Die Aufhebung der Normalkräfte kann nur stattfinden, wenn die betreffende Linie die Gränze bildet, zwischen zwei Flächentheilen die in entgegengesetzter Bewegung sich befinden.

Die Aufhebung der Tangentialkräfte kann nur stattfinden, wenn dieselben für irgend einen Punkt der Linie von entgegengesetzter Richtung sind und zwar *diametral* entgegengesetzt. Ueberdies wird man je zwei so entgegengesetzte Kräfte von gleicher Intensität annehmen müssen. Hieraus folgt aber der wichtige Satz;

»Die Elemente der Bewegungscurven, welche unmittelbar an eine Knotenlinie gränzen, müssen beiderseits *diametral* entgegengesetzt seyn; desgleichen die Scheidegränzen der Wirbelbewegungen.«

§. 21.

Ich nehme hier das Wort »*diametral entgegengesetzt*« in seiner umfassenden Bedeutung, und nicht etwa so als müßten die beiderseits benachbarten Curvenelemente nun nothwendig auch *senkrecht* stehen auf der Knotenlinie. Wenn auch letzteres mir bei gegenwärtiger Untersuchung allein vorkam, so bin ich doch geneigt, zu glauben, dafs es Fälle giebt, in welchen die Richtung der *diametral* entgegengesetzten Kräfte schief gegen die Knotenlinie ist.

§. 22.

Nehmen wir nun an:

1. *AB* Fig. 10, Taf. I wäre eine Linie, von der wir wüßten, dafs die beiderseitigen Flächentheile *C* und *D* entgegengesetzt schwingen, und dafs die Bewegungscurven von der Seite *C* und *D* her mit ihren der Linie *AB* nächsten Elementen *senkrecht* auf *AB*, so müßten wir jedenfalls schliessen, dafs *AB* eine Knotenlinie wäre. Es leuchtet ein, dafs etwa aufgestreuter Sand beim Schwingen der

Fläche in der Linie AB aufgehäuft wird. Die Linie AB wird demnach eine *bedeckte* Knotenlinie seyn.

2. AB Fig. 11, Taf. I wäre eine Linie von der wir wüßten, daß die beiderseitigen Flächentheile C und D entgegengesetzt schwingen, und daß die Bewegungscurven von der Seite C und D her *senkrecht* auf AB , jedoch der Richtung nach entgegengesetzt wie bei 1, so müßten wir jedenfalls schließen, daß AB eine Knotenlinie wäre.

Es leuchtet jetzt aber ein, daß etwa aufgestreuter Sand gerade von der Linie AB *weggeführt* wird, so daß diese zuletzt ganz frei davon wird. Streng genommen müßten natürlich, wenn man die Sandkörner als mathematische Punkte betrachten könnte, diese in der Linie AB bei der Bewegung in Ruhe bleiben. Eine Voraussetzung der Art ist aber nicht statthaft und man wird leicht einsehen wie die Sandkörner stets, wenn auch nur ein Minimum, in das Bereich der schwingenden Flächentheile C und D beim Aufstreuen gerathen.

Daß diese Art Knotenlinien in der Wirklichkeit vorkommt, wird das folgende nachweisen und ich nenne sie daher im Gegensatz zu den unter 1 beobachteten *unbedeckte* Knotenlinien.

§. 23.

Nehmen wir ferner an:

1. AB Fig. 12, Taf. I sey eine Linie, zu deren beiden Seiten die nächsten Elemente der Bewegungscurven ihrer Lage und Richtung nach mit den gezeichneten Pfeilspitzen zusammenfallen, so daß sie also zwar symmetrisch in Beziehung auf AB aber nicht diametral entgegengesetzt sind, so wird die Linie AB *keine* Knotenlinie seyn können, sondern man wird stets finden, daß in der Linie AB der Sand fortrückt im Sinne der an den Enden derselben gezeichneten Pfeilspitzen, so daß AB selbst eine Bewegungscurve ist, die gewissermaßen als die resultirende der seitlichen zu betrachten ist.

2. AB Fig. 13, Taf. I sey eine Linie, für welche nun die Richtung der nächsten Elemente der Bewegungscurven

die entgegengesetzte wie unter 1, so wird die Linie *AB* ebenfalls *keine* Knotenlinie seyn können, sondern man wird stets finden, daß sie selbst eine Bewegungscurve und daß der Sand in ihr fortrückt in der Richtung der an den Enden angegebenen Pfeile. Trotzdem wird begreiflicher Weise der Sand in der Linie *AB* zunächst *aufgehäuft* und ein Beobachter, der den Vorgang nicht genauer verfolgt, der versäumt die Fläche länger im Schwingen zu erhalten, wird eine solche Linie für eine bedeckte Knotenlinie halten und dieser Irrthum fand in der That bis jetzt statt bei den Linien, die man als die äußeren Schwingungsknoten bei glockenförmigen Flächen ansah. Solchen Linien gab ich daher den Namen *Pseudoknotenlinien*.

§. 24.

Ich gehe nun dazu über, um im Sinne des bisjetzt Gewonnenen den Schwingungsvorgang bei glockenförmigen Flächen darzustellen, wie er sich durch meine speciellen Untersuchungen ergab. Hierbei werde ich jedoch nur die Versuche mit einem gewöhnlichen cylindrischen Trinkglase angeben, da die übrigen Formen wie die eigentliche Glockenform, die Trichterform u. s. w. so analoge Erscheinungen mit jenen bei dem Trinkglase bieten, daß es überflüssig wäre jede einzelne Form besonders zu betrachten.

Weiterhin gebe ich die Erscheinungen nur an, wie sie sich ergeben, wenn das Gefäß den tiefsten Ton giebt, da ich mich überzeugt habe, daß für den zweit oder dritt höchsten Ton jene keine anderen waren als man überhaupt erwarten konnte, so daß also das folgende sofort für die höheren Töne gültig ist, wenn man statt der Zahl 4 die Zahl 6 oder 8 gesetzt denkt.

Das Gefäß war 6 par. Zoll hoch und hatte einen Durchmesser von $2\frac{1}{2}$ Zoll.

§. 25.

Vor allem kam es mir nun darauf an, die Tonerregung möglichst regelmäsig zu bewerkstelligen; ich wählte daher nicht die Anstreichmethode mittelst des Violinbogens, sondern befestigte mittelst Siegellacks unmittelbar unter dem

Rande des Glases ein ganz dünnes Glasstäbchen etwa eine Spanne lang, und strich dieses mit dem Daumen und Zeigefinger, nachdem sie mit Wasser benetzt waren. Die Art und Weise dieser schon von Chladni (Kastner's Archiv Bd. VIII, S. 91) angegebenen Methode der Tonerregung, schien mir besonders für vorliegende Untersuchungen zweckmässig und dürfte bei Versuchen mit Glocken sehr zu empfehlen seyn, wie man sich leicht überzeugen kann. Denn abgesehen davon, dass die Tonerregung ganz genau immer an demselben Punkte stattfindet, wo das Glasstäbchen befestigt ist, hat man hierbei den grossen Vortheil, das Gefäss in jeder beliebigen Stellung in Schwingungen versetzen zu können, so dass man also z. B. die Bewegung von Körperchen auf der Fläche unabhängig von der Schwere machen kann. Wendet man dagegen den Violinbogen an, so findet man sich oft grossen Unbequemlichkeiten ausgesetzt.

Die Stelle des Randes, wo das Glasstäbchen befestigt ist, bezeichne ich im folgenden immer mit 0° und gebe in Bezug hierauf die übrigen Punkte in Graden an.

§. 26.

Nachdem nun das Trinkglas auf die im §. 11 angegebene Weise mit Kalkmilch überstrichen worden, und hierauf regelmässig Sand gestreut war, zeigte sich beim Tönen desselben folgendes:

A. Erscheinungen an der inneren Fläche.

1. Denkt man sich das Glas vertical gehalten mit der Mündung nach Oben, so stieg der Sand zu beiden Seiten der Verticallinien, welche durch die Punkte

$0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$

laufen in symmetrischen bogenförmigen Linten in die Höhe wie man aus der Fig. 14, Taf. I erkennt. Offenbar also sind diese vier Verticallinien von solcher Beschaffenheit wie die Linie AB §. 23. 1. Auch wird man deutlich erkennen, wie in diesen Linien selbst einzelne Sandkörner vertical in die Höhe steigen.

2. Der Sand bewegte sich beim weiteren Streichen des

Stäbchens in diesen bogenförmigen Curven fort und häufte sich an in den Verticallinien die durch die Punkte

45°, 135°, 225°, 315°

laufen und zwar begegneten sich in diesen Linien entgegengesetzt laufende Bewegungscurven, die in ihren, jenen Verticallinien nächsten, Elementen, *senkrecht* zu den Verticallinien waren.

Erwägt man nun, daß bei dem tiefsten Ton das Glas abwechselnd schwingt, wie es die Fig. 15, Taf. I *a* und *b* versinnlicht, so sieht man, daß zu beiden Seiten dieser letzteren Linien:

45°, 135°, 225°, 315°

die Flächentheile entgegengesetzt schwingen, und es ergibt sich sofort, daß diese Linien die inneren Schwingungsknoten der Fläche sind wie schon bekannt, und zwar sind es *bedeckte* Knotenlinien.

B. Erscheinungen an der äußeren Fläche.

1. Der Sand bewegte sich zu beiden Seiten der Linien, welche vertical durch die Punkte

45°, 135°, 225°, 315°

laufen, diametral entgegengesetzt von ihnen hinweg und zwar waren die den eben erwähnten Verticallinien nächsten Elemente der Bewegungscurven rechtwinklig zu ihnen wie die Fig. 16, Taf. I versinnlicht. Bei längerem Streichen war der Sand in diesen Linien verschwunden und man begreift mit Rücksicht auf die Fig. 15 *a* und *b*, daß diese von der Art sind wie die Linie *AB* §. 22. 2. Mithin sind diese Verticallinien als die äußeren Knotenlinien der Fläche zu betrachten, sie sind demnach *unbedeckte* Knotenlinien und die in §. 22. 2 im Voraus bestimmte Art von Knotenlinien findet sich hier in der Wirklichkeit geben.

2. Der Sand bewegte sich weiter in den bogenförmigen Linien nach *abwärts* und diese neigten sich in den Verticallinien

0°, 90°, 180°, 270°

beiderseits symmetrisch zusammen. Es sind also diese Li-

nien von der Art wie die Linie AB in §. 23. 2. Auch konnte ich deutlich sehen, wie einzelne Sandkörner in ihnen vertical abwärts stiegen. Demnach mußte der Sand bei längerem Streichen in diesen Linien verschwinden, was auch wirklich geschah, und dieses fand statt in allen Lagen, in welche das Glas gebracht wurde.

Nach der bisherigen Ansicht fallen aber die äußeren Schwingungsknoten mit diesen Linien zusammen; die ursprüngliche Sandanhäufung hatte zu dieser Ansicht verleitet, und sie muß aus den eben angegebenen Gründen aufgegeben werden. Es sind diese Linien nur *Pseudoknotenlinien*.

§. 27.

Durch die Versuche ergab sich also folgendes Resultat:

•Die Knotenlinien der inneren und äußeren Fläche bei glockenförmigen Körpern liegen an *derselben* Stelle; die inneren Knotenlinien sind *bedeckte*, die äußeren dagegen *unbedeckte*. Die Knotenlinien, welche man bisher für die äußeren angesehen sind nur *Pseudoknotenlinien*.

§. 28.

Bei der genaueren Vergleichung der Bewegungscurven ergab sich, daß die inneren den äußeren vollständig congruent waren, und daß sich diese nur in der Richtung von jenen unterschieden: d. h. der Sand bewegt sich in den äußeren entgegengesetzt wie in den inneren. Entwirft man also eine Zeichnung von der inneren Fläche mit den Bewegungscurven und ebenso von der äußeren, so werden sich beide Zeichnungen für das Auge nicht unterscheiden. Nur wird man bei der inneren Fläche die Anhäufung des Sandes in den vier bedeckten Knotenlinien erblicken, während man bei den äußeren an keiner Stelle eine solche Anhäufung wahrnimmt.

§. 29.

Es erhebt sich nun die Frage: von welcher Beschaffenheit sind die bei glockenförmigen Flächen vorkommenden Bewegungscurven überhaupt? Wie ändert sich ihre Gestalt ab bei engen und weiten Gefäßen? Sind sie alle unter sich congruent oder ist dies nicht der Fall?

Man wird erwarten dürfen, daß sich über die allgemeine Beschaffenheit dieser Curven erst dann etwas Genaueres angeben läßt, wenn eine mathematische Untersuchung über diesen Gegenstand vorausgegangen ist, und diese dürfte wohl von nicht geringer Schwierigkeit seyn.

Um in Bezug der zweiten Frage Aufschluß zu erhalten, stellte ich die Bewegungscurven bei einer weiten Käseglocke dar, welche ebenfalls vollständig cylindrisch und mit einem ebenen Boden ¹⁾ versehen war. Sie hatte ungefähr die umgekehrten Dimensionen wie das Trinkglas, indem ihre Höhe $2\frac{1}{2}$ par. Zoll ihr Durchmesser $6\frac{1}{2}$ Zoll betrug.

In der Fig. 17, Taf. I sind die Bewegungscurven der inneren Fläche gezeichnet und es entspricht diese Figur der Figur 14.

Ein Vergleich dieser beiden Figuren mit einander er giebt nun folgendes:

Bei dem engen Trinkglase scheinen die Curvenäste unmittelbar von den verschiedenen Punkten der *Linien*

$0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$

auszulaufen, bei der weiten Glocke erkennt man wie die Aeste von den verschiedenen Punkten des *Bodens* sich erheben und um so genauer in der Form sich der Graden

$0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$

anschließen, je näher ein solcher Ausgangspunkt diesen Graden gelegen. Ich möchte daher annehmen, daß die Graden

$0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$

die Assymptoten für sämtliche Bewegungscurven sind.

Daß nun bei dem schmalen Gefäße sich die Sache anders verhalten sollte wie bei einem weiten bezüglich der Ausgangspunkte für die Bewegungscurven, scheint mir unwahrscheinlich, vielmehr glaube ich, daß dort wie hier die Curven eigentlich von dem Boden ausgehen, aber wegen

1) Ob und in wiefern ein *Boden* in den Erscheinungen eine Veränderung bedingt, würde genauer zu untersuchen seyn und man müßte in dieser Beziehung zunächst seine Aufmerksamkeit den an beiden Enden offenen Cylindern zuwenden.

der geringeren Dimensionen bezüglich der Weite sich dort desto schneller an die Graden

0°, 90°, 180°, 270°

anschließen. Man wird in dieser Ansicht bestärkt, wenn man die Curven bei stufenweise weiter werdenden Gefäßen vergleicht.

Dafs die Curven sämmtlich congruent, scheint namentlich bei engen Gefäßen der Fall zu seyn; einige Messungen bei weiten schienen mir jedoch diese Annahme unstatthaft zu machen.

§. 30.

Ich mufs hier noch auf einen anderen Umstand aufmerksam machen, nämlich auf die Form, welche die Knotenlinien bei einem Trinkglas oder ähnlichem Gefäfse annehmen. Strehlke sagt nämlich in diesen Ann. Bd. IV, S. 211:

»Der Sand vertheilt sich in 4 oder 6 Dreiecke, welche ihre Spitzen in dem Rande des Glases haben.«
und zeichnet die Knotenlinien wie in der Fig. 18, Taf. I dargestellt ist. Dieses nach unten zu Breiterwerden der Knotenlinie ist jedoch nur die Folge der Einwirkung der Schwere und wird nicht etwa durch die Natur der Schwingungen selbst bedingt. Ist nämlich einmal Sand in den Knotenlinien angehäuft, so drückt der oben befindliche auf den untern, er wird sich nach unten immer mehr anhäufen, und diese Anhäufung wird wegen der geringeren Intensität der Schwingungen bei den nach dem Boden zu gelegenen Flächentheilen wohl auch noch begünstigt. Hält man dagegen das Glas so, dafs die Linie, welche zur Knotenlinie wird, horizontal liegt, so verliert diese die obige Form und bildet nur einen schmalen parallelen Streifen.

III. Brechung und Zurückwerfung des Lichts unter der Voraussetzung, daß das Licht in der Polarisationsebene schwinde; von Dr. Zech.

1. Die Frage, ob das Licht in oder senkrecht zur Polarisationsebene schwinde, liefse sich dadurch zu Gunsten der einen Annahme lösen, daß man Lichterscheinungen nachweist, welche sich nach der anderen Annahme nicht erklären würden. Als solche Lichterscheinung wird die elliptische Polarisation des Lichts bei der Zurückwerfung geltend gemacht (vergleiche »die Fortschritte der Physik im Jahr 1856« S. 793 u. ff.) Die Resultate von Holtzmann aus dem von Stokes angegebenen Beugungsversuch (Pogg. Ann. Bd. 99, S. 446) werden noch nicht als entscheidend angesehen, ebenso wenig der Einwand Neumann's, daß man nach Fresnel's Annahme in demselben Mittel verschieden dichten Aether annehmen müßte. Es mag daher am Platze seyn, Formeln aufzustellen, welche unter der Annahme Neumann's die elliptische Polarisation erklären. Durch Mittheilungen von Prof. Holtzmann bin ich im Stande diefs zu thun.

Die folgende Untersuchung beschränkt sich auf eine unkrystallinische planparallele Platte, und es liegen ihr folgende Voraussetzungen zu Grunde:

a. Die Verschiebungen in der Gränzfläche zweier Mittel, welche sich aus den Bewegungen im einen oder im andern Mittel ergeben, haben gleiche Gröfse und Richtung.

b. Die Spannungen in der Gränzfläche zweier Mittel, welche sich aus den Bewegungen im einen oder im andern Mittel ergeben, haben gleiche Gröfse und Richtung.

c. Der Aether gleicht den tropfbar flüssigen Körpern darin, daß die Kraft, welche eine Verschiebung mit Verdichtung hervorbringt, außerordentlich vielmal größer ist als die, welche eine Verschiebung von ähnlicher Gröfse ohne Verdichtung giebt, d. h. daß die durch Transversalschwin-

gungen hervorgerufenen Longitudinalschwingungen gegen jene vernachlässigt werden können. Die Dichtigkeit des Aethers ist überall gleich, die Elasticität verschieden in verschiedenen Mitteln.

2. Ich nehme ein rechtwinkliges Coordinatensystem, in welchem eine Gränzfläche der planparallelen Platte Ebene der yz ist; die andere habe die Gleichung:

$$x = +d$$

wobei also d die Dicke der Platte ist. Im ersten Mittel, für welches $x > d$ ist, falle eine ebene Welle parallel zur Axe der z ein. Die Bewegungen in der Wellenebene werden nach den drei Axen zerlegt, die Componenten mit ξ , η , ζ bezeichnet.

Als positive Richtung der Schwingungen parallel mit der Axe der z wähle ich die Richtung der positiven Axe der z , als positive Richtung der Schwingungen senkrecht zur Axe der z diejenige Richtung, welche parallel durch den Ursprung gelegt in den Winkel der positiven Axe der x und der negativen Axe der y hineingeht.

Schneidet die einfallende Welle ursprünglich die positive Axe der x und die positive Axe der y , und bildet ein einfallender Strahl den Winkel α mit der Axe der x , so hat man:

$$\zeta = s \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{\tau} + \frac{x \cos \alpha + y \sin \alpha}{\lambda} \right) - f \right]$$

$$\xi = \sigma \sin \alpha \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{\tau} + \frac{x \cos \alpha + y \sin \alpha}{\lambda} \right) - \varphi \right]$$

$$\eta = -\sigma \cos \alpha \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{\tau} + \frac{x \cos \alpha + y \sin \alpha}{\lambda} \right) - \varphi \right]$$

wo s und σ die Amplituden der Schwingungen parallel und senkrecht zur Axe der z , die zugehörigen Phasen f und φ sind; die andern Beziehungen sind die gewöhnlichen: t die Zeit, τ die Schwingungsdauer, λ die Wellenlänge, (x, y) ein beliebiger Punkt der betrachteten Wellenebene.

Um dieselben Componenten für die zurückgeworfenen Wellenebenen zu finden, darf man nur $\pi - \alpha$ statt α setzen und den Amplituden und Phasen einen besonderen Index

geben. Bei der gebrochenen Wellenebene erhält man dieselben Ausdrücke, aber wieder mit besonderem Index bei den Phasen, Amplituden, der Wellenlänge und dem Winkel α ; ebenso bei der im zweiten Mittel zurückgeworfenen und der ins dritte Mittel gebrochenen Wellenebene.

3. Ich betrachte zuerst die Bewegungen *normal* zur Einfallsebene, also parallel zur Axe der z . Man hat für die fünf Wellenebenen:

$$\begin{aligned} \text{erstes Mittel: } & \begin{cases} \zeta = s \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{\tau} + \frac{x \cos \alpha + y \sin \alpha}{\lambda} \right) - f \right] \\ \zeta_0 = s_0 \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{\tau} - \frac{x \cos \alpha - y \sin \alpha}{\lambda} \right) - f_0 \right] \end{cases} \\ \text{zweites Mittel: } & \begin{cases} \zeta' = s' \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{\tau} + \frac{x \cos \alpha' + y \sin \alpha'}{\lambda'} \right) - f' \right] \\ \zeta_1 = s_1 \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{\tau} - \frac{x \cos \alpha' - y \sin \alpha'}{\lambda'} \right) - f_1 \right] \end{cases} \\ \text{drittes Mittel: } & \zeta'' = s'' \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{\tau} + \frac{x \cos \alpha'' + y \sin \alpha''}{\lambda''} \right) - f'' \right] \end{aligned}$$

wobei der Index oben bei der gebrochenen, der Index unten bei der zurückgeworfenen Welle gebraucht wird.

Zwischen diesen Verschiebungen müssen folgende Beziehungen stattfinden;

nach 1. a.

$$\begin{aligned} \text{für } x=0: & \zeta'' = \zeta' + \zeta_1 \\ \text{für } x=d: & \zeta'' + \zeta_1 = \zeta + \zeta_0 \end{aligned} \quad \cdot \cdot \quad (1)$$

nach 1. b, wenn $BB'B''$ die Elasticitätscoefficienten der drei Mittel für transversale Verschiebungen sind:

$$\begin{aligned} \text{für } x=0: & B'' \frac{d\zeta''}{dx} = B' \left(\frac{d\zeta'}{dx} + \frac{d\zeta_1}{dx} \right) \\ \text{für } x=d: & B' \left(\frac{d\zeta'}{dx} + \frac{d\zeta_1}{dx} \right) = B \left(\frac{d\zeta}{dx} + \frac{d\zeta_0}{dx} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

und diese vier Gleichungen gelten für jedes beliebige y und jedes beliebige t . Unter den Phasen läßt sich eine beliebig annehmen, ich setze $f'' = 0$.

Die erste der Gleichungen (1) giebt:

$$s'' \cos 2\pi \left(\frac{t}{\tau} + \frac{y \sin \alpha''}{\lambda''} \right) = (s' \cos f' + s_1 \cos f_1) \cos 2\pi \left(\frac{t}{\tau} + \frac{y \sin \alpha'}{\lambda'} \right) \\ + (s' \sin f' + s_1 \sin f_1) \sin 2\pi \left(\frac{t}{\tau} + \frac{y \sin \alpha'}{\lambda'} \right)$$

Da eine der Amplituden nur in besonderen Fällen verschwinden kann, so ist diese Gleichung für jedes t und jedes y nur möglich, wenn:

$$\frac{\sin \alpha''}{\lambda''} = \frac{\sin \alpha'}{\lambda'}$$

und ebenso giebt die zweite die Gleichungen (1)

$$\frac{\sin \alpha'}{\lambda'} = \frac{\sin \alpha}{\lambda}$$

womit das gewöhnliche *Brechungsgesetz* ausgesprochen ist.

Setzt man nun:

$$\frac{t}{\tau} + \frac{y \sin \alpha''}{\lambda''} = \frac{t}{\tau} + \frac{y \sin \alpha'}{\lambda'} = \frac{t}{\tau} + \frac{y \sin \alpha}{\lambda} = K$$

so erhält man:

$$\zeta = s \cos \left[2\pi \left(K + \frac{x \cos \alpha}{\lambda} \right) - f \right]$$

$$\zeta_0 = s_0 \cos \left[2\pi \left(K - \frac{x \cos \alpha}{\lambda} \right) - f_0 \right]$$

$$\zeta' = s' \cos \left[2\pi \left(K + \frac{x \cos \alpha'}{\lambda'} \right) - f' \right]$$

$$\zeta_1 = s_1 \cos \left[2\pi \left(K - \frac{x \cos \alpha'}{\lambda'} \right) - f_1 \right]$$

$$\zeta'' = s'' \cos \left[2\pi \left(K + \frac{x \cos \alpha''}{\lambda''} \right) \right]$$

Da die Dichte des Aethers gleich bleibt, so ist:

$$B : B' : B'' = \lambda^2 : \lambda'^2 : \lambda''^2 = \sin^2 \alpha : \sin^2 \alpha' : \sin^2 \alpha'' \\ = \lambda \sin \alpha : \lambda' \sin \alpha' : \lambda'' \sin \alpha''.$$

Man kann also in den Gleichungen (2) die B durch $\lambda \sin \alpha$ ersetzen.

Man erhält nun, da die Gleichungen (1) und (2) für jedes beliebige K gelten:

für $x = 0$:

$$s'' = s_1 \cos f_1 + s' \cos f' \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

$$0 = s_1 \sin f_1 + s' \sin f' \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

$$s'' \frac{\sin 2\alpha''}{\sin 2\alpha'} = s_1 \cos f_1 - s' \cos f' \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

$$0 = s_1 \sin f_1 - s' \sin f' \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

aus (4) und (6) folgt:

$$f_1 = f' = 0 \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

und mit Hülfe dieser Werthe aus (3) und (5).

$$s_1 = \frac{s''}{2} \left(1 - \frac{\sin 2\alpha''}{\sin 2\alpha'}\right) \quad . \quad (8) \quad s' = \frac{s''}{2} \left(1 - \frac{\sin 2\alpha''}{\sin 2\alpha'}\right) \quad . \quad (9)$$

Mit Benutzung dieser Werthe erhält man ferner, wenn man:

$$\frac{2\pi d \cos \alpha}{\lambda} = \gamma \quad . \quad (10) \quad \frac{2\pi d' \cos \alpha'}{\lambda'} = \gamma' \quad . \quad (11)$$

setzt, für $x=d$, aus den letzten Gleichungen (1) und (2), da sie für jedes K gelten:

$$\begin{aligned} s'' \cos \gamma' &= s_0 \cos (\gamma + f_0) + s \cos (\gamma - f) \\ - s'' \frac{\sin 2\alpha''}{\sin 2\alpha'} \sin \gamma' &= s_0 \sin (\gamma + f_0) - s \sin (\gamma - f) \\ - s'' \frac{\sin 2\alpha''}{\sin 2\alpha'} \cos \gamma' &= s_0 \cos (\gamma + f_0) - s \cos (\gamma - f) \\ + s'' \frac{\sin 2\alpha''}{\sin 2\alpha'} \sin \gamma' &= s_0 \sin (\gamma + f_0) + s \sin (\gamma - f) \end{aligned}$$

und aus diesen vier Gleichungen ergibt sich:

$$s \cos (\gamma - f) = \frac{s''}{2} \left(1 + \frac{\sin 2\alpha''}{\sin 2\alpha'}\right) \cos \gamma' \quad . \quad (12)$$

$$s \sin (\gamma - f) = \frac{s''}{2} \left(\frac{\sin 2\alpha'}{\sin 2\alpha} + \frac{\sin 2\alpha''}{\sin 2\alpha'}\right) \sin \gamma' \quad (13)$$

$$s_0 \cos (\gamma + f_0) = \frac{s''}{2} \left(1 - \frac{\sin 2\alpha''}{\sin 2\alpha'}\right) \cos \gamma' \quad . \quad (14)$$

$$s_0 \sin (\gamma + f_0) = \frac{s''}{2} \left(\frac{\sin 2\alpha'}{\sin 2\alpha} - \frac{\sin 2\alpha''}{\sin 2\alpha'}\right) \sin \gamma' \quad (15)$$

Die Gleichungen (12) bis (15) geben die Beziehungen zwischen der im ersten Mittel einfallenden und zurückgeworfenen und der ins dritte Mittel gebrochenen Welle.

Die Gleichungen (7) bis (9) geben die Beziehungen zwischen der einfallenden, zurückgeworfenen und gebrochenen Welle an der Gränze zweier Mittel. Sie stimmen mit Fresnel's Formeln für Licht, das senkrecht zur Einfallsl-

ebene polarisirt ist, überein. Das zurückgeworfene Licht wird Null, wenn:

$$\sin 2\alpha'' = \sin 2\alpha', \text{ oder } \alpha'' + \alpha' = \frac{\pi}{2}$$

worin das Brewster'sche Gesetz für den *Polarisationswinkel* liegt. Ist $\sin 2\alpha'' > \sin 2\alpha'$, so wird 1. negativ. Wollte man den Amplituden nur absolute Werthe geben, so heisst dies: die Phase hat um π zugenommen oder abgenommen, da die Gleichungen (4) und (6) auch durch $f_1 = \pm \pi$ befriedigt werden.

4. Für die Bewegungen in der Einfallsebene hat man:

$$\text{erstes Mittel: } \begin{cases} \xi = \sigma \sin \alpha \cos \left[2\pi \left(K + \frac{x \cos \alpha}{\lambda} \right) - \varphi \right] \\ \eta = -\sigma \cos \alpha \cos \left[2\pi \left(K + \frac{x \cos \alpha}{\lambda} \right) - \varphi \right] \\ \xi_0 = \sigma_0 \sin \alpha \cos \left[2\pi \left(K - \frac{x \cos \alpha}{\lambda} \right) - \varphi_0 \right] \\ \eta_0 = \sigma_0 \cos \alpha \cos \left[2\pi \left(K - \frac{x \cos \alpha}{\lambda} \right) - \varphi_0 \right] \end{cases}$$

$$\text{zweites Mittel: } \begin{cases} \xi' = \sigma' \sin \alpha' \cos \left[2\pi \left(K + \frac{x \cos \alpha'}{\lambda'} \right) - \varphi' \right] \\ \eta' = -\sigma' \cos \alpha' \cos \left[2\pi \left(K + \frac{x \cos \alpha'}{\lambda'} \right) - \varphi' \right] \\ \xi_1 = \sigma_1 \sin \alpha' \cos \left[2\pi \left(K - \frac{x \cos \alpha'}{\lambda'} \right) - \varphi_1 \right] \\ \eta_1 = \sigma_1 \cos \alpha' \cos \left[2\pi \left(K - \frac{x \cos \alpha'}{\lambda'} \right) - \varphi_1 \right] \end{cases}$$

$$\text{drittes Mittel: } \begin{cases} \xi'' = \sigma'' \sin \alpha'' \cos 2\pi \left(K + \frac{x \cos \alpha''}{\lambda''} \right) \\ \eta'' = -\sigma'' \cos \alpha'' \cos 2\pi \left(K + \frac{x \cos \alpha''}{\lambda''} \right) \end{cases}$$

wo wieder die letzte Phase der Null gleich genommen wurde. Dazu kämen noch die longitudinalen Schwingungen, die an der Gränze je zweier Mittel entstehen. Der Bedingung 1^a müssen nach 1^a die Transversalschwingungen für sich genügen; man hat also für $x=0$:

$$\xi'' = \xi_1 + \xi', \quad \eta'' = \eta_1 + \eta'$$

und für $x = d$:

$$\xi_1 + \xi' = \xi_0 + \xi, \quad \eta_1 + \eta' = \eta_0 + \eta$$

Diese vier Gleichungen gelten für jeden Werth von K , geben also acht Gleichungen, welche die Transversalschwingungen vollkommen bestimmen. Die Bedingung 1^b gäbe acht weitere Gleichungen zur Bestimmung der vorkommenden Longitudinalschwingungen; da sie aber nicht beobachtet werden können, berücksichtige ich sie nicht weiter.

Die Gleichheit der Verschiebungen gilt für $x = 0$:

$$\begin{aligned} \sigma'' \sin \alpha'' &= (\sigma_1 \cos \varphi_1 + \sigma' \cos \varphi') \sin \alpha' \\ 0 &= \sigma_1 \sin \varphi_1 + \sigma' \sin \varphi' \\ -\sigma'' \cos \alpha'' &= (\sigma_1 \cos \varphi_1 - \sigma' \cos \varphi') \cos \alpha' \\ 0 &= \sigma_1 \sin \varphi_1 - \sigma' \sin \varphi' \end{aligned}$$

woraus:

$$\varphi_1 = \varphi' = 0 (16)$$

$$\sigma' = \frac{\sigma''}{2} \left(\frac{\sin \alpha''}{\sin \alpha'} + \frac{\cos \alpha''}{\cos \alpha'} \right) = \sigma'' \frac{\sin(\alpha'' + \alpha')}{\sin 2\alpha'} . (17)$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma''}{2} \left(\frac{\sin \alpha''}{\sin \alpha'} - \frac{\cos \alpha''}{\cos \alpha'} \right) = \sigma'' \frac{\sin(\alpha'' - \alpha')}{\sin 2\alpha'} . (18)$$

und mit Benutzung dieser Werthe giebt die Gleichheit der Verschiebungen für $x = d$ [γ und γ' in der Bedeutung von (10) und (11)]:

$$\begin{aligned} \sigma_0 \cos(\gamma + \varphi_0) + \sigma \cos(\gamma - \varphi) &= \frac{\sigma'' \sin \alpha''}{2 \sin \alpha} \cos \gamma' \\ \sigma_0 \sin(\gamma + \varphi_0) - \sigma \sin(\gamma - \varphi) &= -\frac{\sigma'' \cos \alpha''}{2 \cos \alpha'} \frac{\sin \alpha'}{\sin \alpha} \sin \gamma' \\ \sigma_0 \cos(\gamma + \varphi_0) - \sigma \cos(\gamma - \varphi) &= -\frac{\sigma'' \cos \alpha''}{2 \cos \alpha} \cos \gamma' \\ \sigma_0 \sin(\gamma + \varphi_0) + \sigma \sin(\gamma - \varphi) &= \frac{\sigma'' \sin \alpha''}{2 \sin \alpha'} \frac{\cos \alpha'}{\cos \alpha} \sin \gamma' \end{aligned}$$

woraus:

$$\sigma_0 \cos(\gamma + \varphi_0) = \frac{\sigma''}{2} \cos \gamma' \left(\frac{\sin \alpha''}{\sin \alpha} - \frac{\cos \alpha''}{\cos \alpha} \right) . . . (19)$$

$$\sigma_0 \sin(\gamma + \varphi_0) = \frac{\sigma''}{2} \sin \gamma' \left[\frac{\sin \alpha''}{\sin \alpha'} \frac{\cos \alpha'}{\cos \alpha} - \frac{\sin \alpha'}{\sin \alpha} \frac{\cos \alpha''}{\cos \alpha'} \right] (20)$$

$$\sigma \cos(\gamma - \varphi) = \frac{\sigma''}{2} \cos \gamma' \left(\frac{\sin \alpha''}{\sin \alpha} + \frac{\cos \alpha''}{\cos \alpha} \right) . . . (21)$$

$$\sigma \sin(\gamma - \varphi) = \frac{\sigma''}{2} \sin \gamma' \left[\frac{\sin \alpha'' \cos \alpha'}{\sin \alpha' \cos \alpha} + \frac{\sin \alpha' \cos \alpha''}{\sin \alpha \cos \alpha'} \right] \quad (22)$$

Die Formeln (16) bis (18) geben die Beziehungen zwischen der einfallenden, zurückgeworfenen und gebrochenen Wellenebene an der Gränze zweier Mittel, die Formeln (19) bis (22) die Beziehungen zwischen der im ersten Mittel einfallenden und zurückgeworfenen und der ins dritte Mittel gebrochenen Wellenebene. Die Formeln (16) und (18) stimmen mit Fresnel's Formeln für das in der Einfallsebene polarisirte Licht.

5. Die Formeln (12) bis (15) und (19) bis (22) nehmen eine für die Rechnung bequemere Form an, wenn man folgende Hilfsgrößen einführt:

$$\operatorname{tg} m = \frac{\sin 2\alpha'}{\sin 2\alpha} \quad (25) \quad \operatorname{tg} n = \frac{\sin 2\alpha''}{\sin 2\alpha'} \quad (26)$$

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{\operatorname{tg} \alpha'}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (27) \quad \operatorname{tg} \nu = \frac{\operatorname{tg} \alpha''}{\operatorname{tg} \alpha'} \quad (28)$$

Aus den Formeln (12) bis (15) wird dann:

$$s \cos(\gamma - f) = s'' \cos \gamma' \frac{\cos(m-n)}{2 \cos m \cos n}$$

$$s \sin(\gamma - f) = s'' \sin \gamma' \frac{\sin(m+n)}{2 \cos m \cos n}$$

$$s_0 \cos(\gamma + f_0) = s'' \cos \gamma' \frac{\cos(m+n)}{2 \cos m \cos n}$$

$$s_0 \sin(\gamma + f_0) = s'' \sin \gamma' \frac{\sin(m-n)}{2 \cos m \cos n}$$

und aus den Formeln (19) bis (22):

$$\sigma \cos(\gamma - \varphi) = \sigma'' \cos \gamma' \frac{\cos \alpha'' \cos(\mu - \nu)}{\cos \alpha \cos \mu \cos \nu}$$

$$\sigma \sin(\gamma - \varphi) = \sigma'' \sin \gamma' \frac{\cos \alpha'' \sin(\mu + \nu)}{\cos \alpha \cos \mu \cos \nu}$$

$$\sigma_0 \cos(\gamma + \varphi_0) = -\sigma'' \cos \gamma' \frac{\cos \alpha'' \cos(\mu + \nu)}{\cos \alpha \cos \mu \cos \nu}$$

$$\sigma_0 \sin(\gamma + \varphi_0) = -\sigma'' \sin \gamma' \frac{\cos \alpha'' \sin(\mu - \nu)}{\cos \alpha \cos \mu \cos \nu}$$

In der Regel wird jedoch s und σ gegeben seyn außer

den Winkeln α , α' und α'' ; dann findet man das Uebrige durch folgende Formeln:

$$\operatorname{tg}(\gamma - f) = \operatorname{tg} \gamma' \frac{\sin(m+n)}{\cos(m-n)} \quad . \quad . \quad (29)$$

$$\operatorname{tg}(\gamma + f_0) = \operatorname{tg} \gamma' \frac{\sin(m-n)}{\cos(m+n)} \quad . \quad . \quad (30)$$

$$s'' = s \frac{2 \cos m \cos n}{\cos(m-n)} \frac{\cos(\gamma-f)}{\cos \gamma'} = s \frac{2 \cos m \cos n}{\sin(m+n)} \frac{\sin(\gamma-f)}{\sin \gamma'} \quad (31)$$

$$s_0 = s \frac{\cos(m+n)}{\cos(m-n)} \frac{\cos(\gamma-f)}{\cos(\gamma+f_0)} = s \frac{\sin(m-n)}{\sin(m+n)} \frac{\sin(\gamma-f)}{\sin(\gamma+f_0)} \quad (32)$$

$$\operatorname{tg}(\gamma - \varphi) = \operatorname{tg} \gamma' \frac{\sin(\mu+\nu)}{\cos(\mu-\nu)} \quad . \quad . \quad (33)$$

$$\operatorname{tg}(\gamma + \varphi_0) = \operatorname{tg} \gamma' \frac{\sin(\mu-\nu)}{\cos(\mu+\nu)} \quad . \quad . \quad (34)$$

$$\begin{aligned} \sigma'' &= \sigma \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha''} \frac{2 \cos \mu \cos \nu \cos(\gamma-\varphi)}{\cos(\mu-\nu)} \frac{1}{\cos \gamma'} \\ &= \sigma \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha''} \frac{2 \cos \mu \cos \nu \sin(\gamma-\varphi)}{\sin(\mu+\nu)} \frac{1}{\sin \gamma'} \quad . \quad (35) \end{aligned}$$

$$\sigma_0 = -\sigma \frac{\cos(\mu+\nu)}{\cos(\mu-\nu)} \frac{\cos(\gamma-\varphi)}{\cos(\gamma+\varphi_0)} = -\sigma \frac{\sin(\mu-\nu)}{\sin(\mu+\nu)} \frac{\sin(\gamma-\varphi)}{\sin(\gamma+\varphi_0)} \quad (36)$$

Die Formeln (29) bis (36) liegen allen folgenden zu Grunde.

6. Die Formeln (7) bis (9) und (16) bis (18) geben Fresnel's Formeln wieder für die Brechung und Zurückwerfung des Lichts an der Gränze zweier Mittel. Es liegt in der Natur der Sache, anzunehmen, daß die Aenderung von λ oder α an der Gränze nicht plötzlich erfolge, sondern daß ein allmählicher Uebergang stattfinde. Einem solchen stetigen Uebergang wird wenigstens einigermaßen genügt, wenn man zwischen die zwei verschiedenen Mittel eine Schicht einschaltet von sehr geringer Dicke, welche in ihren optischen Eigenschaften die Mitte zwischen beiden hält. Zu diesem Zweck lassen sich unmittelbar die Formeln (29) bis (36) benutzen, wenn man d sehr klein nimmt im Verhältniß zu λ . Nur ist eine Annahme zu machen über den Winkel α' in der Uebergangsschicht.

Da es sich darum handelt, Resultate zu erhalten, die

mit den Beobachtungen Jamin's (Pogg. Ann. Ergänzungsband 3, S. 263) verglichen werden können, so wählte ich beispielsweise die Beobachtungen am Flintglas. Ich bestimmte den Werth von γ' aus dem Verhältniß der Amplituden des in und senkrecht zu der Einfallsebene schwingenden und unter dem Polarisationswinkel zurückgeworfenen Lichts oder aus dem von Jamin beobachteten Werth von K . (Die Dicke der Uebergangsschicht ergibt sich daraus: $d = 0,0143 \lambda'$.) Ferner setzte ich α' dem arithmetischen Mittel aus α und α'' gleich.

Ich finde dann nach Jamin's Bezeichnung:

Incidenz	$\frac{\delta}{\pi}$		Differenz	ω				Differenz
	beob.	berech.		beob.	berech.	beob.	berech.	
53	1,026	1,028	+ 0,002	10° 5'	10° 5'			0'
54	1,036	1,034	— 0,002	8 27	8 40			+ 13
55	1,039	1,042	+ 0,003	7 0	7 12			+ 12
56	1,043	1,054	+ 0,011	5 26	5 43			+ 17
57	1,064	1,074	+ 0,010	4 3	4 17			+ 14
58	1,108	1,113	+ 0,005	2 45	2 52			+ 7
59	1,217	1,232	+ 0,015	1 30	1 32			+ 2
60	1,640	1,630	— 0,010	1 13	1 8			— 5
61	1,877	1,842	— 0,035	2 45	2 12			— 33
62	1,923	1,906	— 0,017	4 5	3 39			— 26
63	1,939	1,933	— 0,006	5 46	5 10			— 36
64	1,947	1,948	+ 0,001	7 5	6 43			— 22

Man sieht, daß Beobachtung und Berechnung so gut stimmt, als dies bei Cauchy's Formeln der Fall ist.

Der Umstand, daß starke elliptische Polarisation bei großen Brechungsquotienten sich findet, hing dann damit zusammen, daß bei stärkerer Brechung eine dickere Uebergangsschicht nöthig ist, als bei schwacher Brechung.

Die Formeln (29) bis (36) geben unter allen Umständen, wenn α von 0 bis 90° zunimmt, eine Zunahme der Differenz der Phase des senkrecht zur Einfallsebene schwingenden Lichts und der Phase des in der Einfallsebene schwin-

genden. Diefes ist die von Jamin »positiv« genannte Reflexion. Um die negative Reflexion zu erklären, müßte in den obigen Formeln $\operatorname{tg} \gamma'$ auch negativ seyn können, was bei dem Werth von γ' nicht wohl denkbar ist, so lange d sehr klein bleibt. (Die absoluten Werthe stimmen z. B. bei Wasser so gut mit den Beobachtungen, wie die nach Cauchy's Formeln berechneten.) Aber auch die Erklärung Jamin's für die negative Reflexion hat, glaube ich, sehr wenig Wahrscheinlichkeit für sich.

7. Nimmt man an, das dritte Mittel sey dasselbe wie das erste, so ist:

$$\alpha'' = \alpha$$

$$n = \frac{1}{2}\pi - m \quad v = \frac{1}{2}\pi - \mu$$

und die Formeln (29) bis (36) werden jetzt:

$$\operatorname{tg}(\gamma - f) = \frac{\operatorname{tg} \gamma'}{\sin 2m} \quad \operatorname{tg}(\gamma + f_0) = \infty$$

$$s'' = s \frac{\cos(\gamma - f)}{\cos \gamma'} \quad s_0 = -s \cos 2m \sin(\gamma - f)$$

$$\operatorname{tg}(\gamma - \varphi) = \frac{\operatorname{tg} \gamma'}{\sin 2\mu} \quad \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_0) = \infty$$

$$\sigma'' = \sigma \frac{\cos(\gamma - \varphi)}{\cos \gamma'} \quad \sigma_0 = \sigma \cos 2\mu \sin(\gamma - \varphi)$$

oder wenn man die Amplituden bloß als Functionen von γ' , m und μ will:

$$s'' = s \frac{\sin 2m}{\cos \gamma' \sqrt{\sin^2 2m + \operatorname{tg}^2 \gamma'}} \quad s_0 = -s \cos 2m \frac{\operatorname{tg} \gamma'}{\sqrt{\sin^2 2m + \operatorname{tg}^2 \gamma'}}$$

$$\sigma'' = \sigma \frac{\sin 2\mu}{\cos \gamma' \sqrt{\sin^2 2\mu + \operatorname{tg}^2 \gamma'}} \quad \sigma_0 = \sigma \cos 2\mu \frac{\operatorname{tg} \gamma'}{\sqrt{\sin^2 2\mu + \operatorname{tg}^2 \gamma'}}$$

Die Amplituden sind Functionen von

$$\gamma' = \frac{2\pi d \cos \alpha'}{\lambda'}$$

Es ergeben sich darnach zwei wesentlich verschiedene Erscheinungen, je nachdem d im Verhältniß zu λ' sehr groß ist oder nicht, oder je nachdem das zweite Mittel eine dicke oder dünne Platte ist. Bei dicken Platten wird eine kleine Aenderung von α' oder λ' genügen, damit $\frac{2d \cos \alpha'}{\lambda'}$

um eine halbe Einheit zunehme oder $\operatorname{tg} \gamma'$ alle Werthe von 0 bis ∞ durchlaufe, also die Amplituden ihre Maxima und Minima erreichen. Bei dünnen Platten ist eine bedeutende Aenderung von α' oder λ' nöthig, damit $\operatorname{tg} \gamma'$ alle möglichen Werthe annehme.

Bei *dünnen* Platten wird das reflectirte Licht Null, wenn $s_0 = 0$ und $\sigma_0 = 0$ und dies ist der Fall für $\operatorname{tg} \gamma' = 0$ oder:

$$d \cos \alpha' = K \cdot \frac{\lambda'}{2}$$

wo K eine beliebige ganze Zahl ist. Es ist dies das bekannte Gesetz für Newton's Ringe. Dann ist:

$$\gamma - f = \gamma - q = 0$$

und:

$$s'' = s, \quad \sigma'' = \sigma$$

die Amplitude und Phase des durchgelassenen Lichtes ist gleich den des einfallenden.

Das zurückgeworfene Licht wird ein Maximum, wenn $\operatorname{tg} \gamma' = \infty$. Dann ist:

$$\begin{aligned} s'' &= s \sin 2m & s_0 &= -s \cos 2m \\ \sigma'' &= \sigma \sin 2\mu & \sigma'' &= \sigma \cos 2\mu \end{aligned}$$

$$d \cos \alpha' = (2K + 1) \frac{\lambda'}{4}.$$

Fällt natürliches Licht ein, so ist $s = \sigma$, das zurückgeworfene und durchgelassene Licht ist theilweise polarisirt, und es sind die Intensitäten des zurückgeworfenen und durchgelassenen polarisirten Lichtes gleich, weil:

$$\begin{aligned} s_0^2 - \sigma_0^2 &= s^2 (\cos^2 2m - \cos^2 2\mu) \\ &= s^2 (\sin^2 2\mu - \sin^2 2m) = \sigma''^2 - s''^2 \end{aligned}$$

Arago hat dieses Gesetz aufgestellt (*Oeuvres* T. 10, p. 14 et 15).

Für den Polarisationswinkel ist $m = 45^\circ$, also $s'' = s$ und $s_0 = 0$, d. h. das senkrecht zur Einfallsebene schwingende Licht wird nicht zurückgeworfen, sondern ganz durchgelassen (Arago an derselben Stelle).

Fällt natürliches Licht ein, so ist $s^2 = \sigma^2 = \frac{1}{2}$, wenn die Intensität des einfallenden Lichtes zur Einheit genommen wird. Dann ergibt sich:

$$s''^2 + \sigma''^2 = \frac{1}{2} \frac{\sin^2 2m}{\sin^2 2m + \lg^2 \gamma'} (1 + \lg^2 \gamma') + \frac{1}{2} \frac{\sin^2 2\mu}{\sin^2 2\mu + \lg^2 \gamma'} (1 + \lg^2 \gamma')$$

$$s_0^2 + \sigma_0^2 + \frac{1}{2} \frac{\cos^2 2m}{\sin^2 2m + \lg^2 \gamma'} \lg^2 \gamma' + \frac{1}{2} \frac{\cos^2 2\mu}{\sin^2 2\mu + \lg^2 \gamma'} \lg^2 \gamma'$$

woraus:

$$s''^2 + \sigma''^2 + s_0^2 + \sigma_0^2 = \frac{1}{2} \frac{\lg^2 \gamma'}{\sin^2 2m + \lg^2 \gamma'} + \frac{1}{2} \frac{\sin^2 2m}{\sin^2 2m + \lg^2 \gamma'} + \frac{1}{2} \frac{\lg^2 \gamma'}{\sin^2 2\mu + \lg^2 \gamma'} + \frac{1}{2} \frac{\sin^2 2\mu}{\sin^2 2\mu + \lg^2 \gamma'} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = 1$$

d. h. die Farbenercheinungen dünner Platten in zurückgeworfenem und durchgelassenem Licht sind complementär (Arago, *Oeuvres* T. 10, p. 14).

8. Bei *dicken* Platten, wo d sehr groß gegen λ' ist, sieht man Newton's Ringe weder bei homogenem noch bei weißem Licht. Diefs rührt daher, dafs die Aenderung von γ' sehr schnell vor sich geht, während α' und λ' nur langsam sich ändern. Hat man homogenes Licht, d. h. ist λ' constant, so liegen Ringe von entgegengesetzten Intensitäten so nahe an einander, dafs das Auge die einzelnen nicht mehr unterscheiden kann; hat man weißes Licht, so fallen außerdem bei constantem α' Ringe von sehr wenig verschiedener Farbe auf einander, der eine mit der größten, der andere mit der kleinsten Intensität.

Ist z. B. $d = 1^{\text{mm}}$, $\lambda' = 0,0005^{\text{mm}}$, so ändert sich

$$\frac{2d \cos \alpha'}{\lambda'} = 4000 \cdot \cos \alpha'$$

um eine Einheit, wenn $\cos \alpha'$ um $\frac{1}{4000}$ seines Werths sich ändert, was im ungünstigsten Fall ($\alpha' = 90^\circ$) eine Aenderung von nicht ganz einer Minute ausmacht: man würde also innerhalb eines Schwinkels von einer Minute einen hellen und einen dunkeln Ring sehen.

Ist dagegen α' constant, so ändert sich jener Ausdruck um eine Einheit, wenn λ' bei senkrechter Incidenz um $0,0000001^{\text{mm}}$ zunimmt, bei $\alpha' = 89^\circ$ um $0,000017$, bei streifender Incidenz um seine eigene Gröfse. Abgerechnet dieser äußersten Fälle wird also λ' immer in den Grenzen derselben Farbe für das Auge bleiben.

Daraus ergibt sich, daß man bei dicken Platten das einfache Licht in Lichtbündel abtheilen kann, innerhalb welcher γ' von einem Vielfachen von 2π zum nächsten zunimmt, und deren Intensität als das arithmetische Mittel der Intensitäten aller einzelnen Strahlen mit den verschiedenen Werthen von γ' sich betrachten läßt. Denkt man sich diese Intensitäten als Ordinaten einer Curve, je zwei in dem unendlich kleinen Abstand $d\gamma'$ von einander, und quadriert man diese Curve, so wird das Resultat die mittlere Intensität multiplicirt mit einer Constanten seyn.

Man hat nun für die Intensität eines *einfallenden* Lichtbündels, wo s und σ constant ist:

$$\int_{2K\pi}^{2(K+1)\pi} s^2 d\gamma' = 2\pi s^2, \quad \int_{2K\pi}^{2(K+1)\pi} \sigma^2 d\gamma' = 2\pi \sigma^2$$

für die Intensität eines *zurückgeworfenen* Lichtbündels:

$$\int_{2K\pi}^{2(K+1)\pi} s_0^2 d\gamma' = s^2, \quad \int_{2K\pi}^{2(K+1)\pi} \cos^2 2m \frac{\lg^2 \gamma'}{\sin^2 2m + \lg^2 \gamma'} d\gamma'$$

m ist Function von α' , also auch von γ' , wenn man homogenes Licht hat: bei weißem Licht kann man für jedes Lichtbündel α' constant nehmen und bloß λ' sich ändern lassen, m ist dann constant. Aber auch bei homogenem Licht wird man m als constant annehmen können, da seine Aenderung innerhalb der Gränzen des Integrals sehr klein ist. Man hat also für beide Fälle, wenn man $\lg \gamma' = x$ setzt:

$$\begin{aligned} \int \frac{x^2 dx}{(\sin^2 2m + x^2)(1+x^2)} &= \int \frac{dx}{(1+x^2)\cos^2 2m} - \lg^2 2m \int \frac{dx}{\sin^2 2m + x^2} \\ &= \frac{1}{\cos^2 2m} \operatorname{arctg} x - \frac{\sin 2m}{\cos^2 2m} \operatorname{arctg} \frac{x}{\sin 2m} \\ &= \frac{\gamma'}{\cos^2 2m} - \frac{\sin 2m}{\cos^2 2m} (\gamma - f) \quad (\text{s. 7.}) \end{aligned}$$

Folglich, da $\gamma - f$ dieselben Gränzen hat, wie γ' :

$$\int_{2K\pi}^{2(K+1)\pi} s_0^2 d\gamma' = s^2 \cdot 2\pi (1 - \sin 2m).$$

Ganz ebenso ergibt sich:

$$\int_{2K\pi}^{2(K+1)\pi} \sigma_0^2 d\gamma' = \sigma^2 \cdot 2\pi (1 - \sin 2\mu)$$

Für die Intensität eines durchgelassenen Lichtbündels hat man:

$$\int_{2K\pi}^{2(K+1)\pi} s'^2 d\gamma' = s^2 \sin^2 2m \int_{2K\pi}^{3(K+1)\pi} \frac{d\gamma'}{\cos^2 \gamma' (\sin^2 2m + \tan^2 \gamma')} = s^2 \cdot 2\pi \sin 2m$$

und ebenso:

$$\int_{2K\pi}^{2(K+1)\pi} \sigma'^2 d\gamma' = \sigma^2 \cdot 2\pi \sin 2\mu$$

Fällt natürliches oder unter dem Azimut 45° polarisirtes Licht ein, so ist $s = \sigma$, und wenn man $2\pi s^2$ zur Einheit der Intensität nimmt, so sind die verschiedenen Intensitäten:

für normal zur Einfallsebene schwingendes Licht:

zurückgeworfen: $1 - \sin 2m$, durchgelassen: $\sin 2m$;

in der Einfallsebene schwingendes Licht:

zurückgeworfen: $1 - \sin 2\mu$, durchgelassen: $\sin 2\mu$.

(Auf dasselbe Resultat kommt man aus den Formeln Neumann's, Pogg. Ann. Bd. 99, S. 240, wenn man für eine Platte die Substitution von r ausführt.)

Da:

$$(1 - \sin 2m) - (1 - \sin 2\mu) = \sin 2\mu - \sin 2m$$

so folgt, daß bei auffallendem natürlichem Licht die Intensität des polarisirten zurückgeworfenen und durchgelassenen Lichtes gleich ist. (Arago, *Oeuvres* T. 7, p. 323.)

Arago hat die Intensität des an einer planparallelen Glasplatte zurückgeworfenen und durchgelassenen Lichts gemessen (*Oeuvres* T. 10, p. 207), aber ohne den Brechungsquotienten des Glases zu geben. Die sicherste Bestimmung nach der Art der Beobachtung ist die für die gleiche Intensität des zurückgeworfenen und durchgelassenen Lichts bei dem Einfallswinkel $78^\circ 52'$, und es findet sich daraus

nach den obigen Formeln der Brechungsquotient $n=1,497$. Ist das zurückgeworfene Licht das p fache des durchgelassenen, so ist nach den Formeln:

$$(1 - \sin 2m) + (1 - \sin 2\mu) = p(\sin 2m + \sin 2\mu)$$

$$\frac{2}{p+1} = \sin 2m + \sin 2\mu$$

und es ergeben sich folgende Resultate:

Einfallswinkel	p berechnet	p beobachtet von Arago
85° 28'	3,44	4
82 59	1,95	2
78 52	1,00	1
72 43	0,48	0,5
63 32	0,22	0,25

9. Arago und Airy haben beobachtet, dafs eine Glaslinse auf einen Metallspiegel geprefst, Ringe erzeugt, die zu beiden Seiten des Polarisationswinkels des Glases complementäre Erscheinungen zeigen, wenn das Licht vorher oder nachher senkrecht zur Einfallsebene polarisirt ist, (Pogg. Ann. Bd. 22, S. 611 und Bd. 26, S. 123.)

Auch diefs liegt in den Formeln (29) bis (36). An der Berührungsstelle ist $d=0$, also $\gamma'=0$, und von da an nimmt γ' mit d zu. Um zu beurtheilen, ob die Mitte hell oder dunkel sey, handelt es sich nur darum, ob die Intensitäten von $\gamma'=0$ an bei zunehmendem γ' abnehmen oder wachsen. Für dieselben α ändern sich die Amplituden stetig mit γ' und nehmen entweder beständig zu oder beständig ab, wenn γ' von 0 bis $\frac{1}{2}\pi$ wächst. Also wird die Mitte hell oder dunkel, je nachdem die Intensität für $\gamma'=0$ gröfser oder kleiner ist als die für $\gamma'=\frac{1}{2}\pi$.

Es ist aber, wenn $\left(\frac{s''}{s}\right)_0$ und $\left(\frac{s''}{s}\right)_{\frac{\pi}{2}}$ die Werthe von $\frac{s''}{s}$ bedeuten für $\gamma'=0$ und $\gamma'=\frac{\pi}{2}$, und ebenso für die übrigen Amplituden:

$$\begin{aligned} \left(\frac{s''}{s}\right)_0 &= \frac{2 \cos m \cos n}{\cos(m-n)} & \left(\frac{s_0}{s}\right)_0 &= \frac{\cos(m+n)}{\cos(m-n)} \\ \left(\frac{s''}{s}\right)_{\frac{\pi}{2}} &= \frac{2 \cos m \cos n}{\sin(m+n)} & \left(\frac{s_0}{s}\right)_{\frac{\pi}{2}} &= \frac{\sin(m-n)}{\sin(m+n)} \end{aligned}$$

also im zurückgeworfenen Licht, welches senkrecht zur Einfallsebene schwingt:

Ringe mit heller Mitte, wenn $\frac{\cos^2(m+n)}{\cos^2(m-n)} > \frac{\sin^2(m-n)}{\sin^2(m+n)}$
 dunkler

$$\text{oder } (1 - \operatorname{tg}^2 m)(1 - \operatorname{tg}^2 n) > 0.$$

Für Glas, Luft, Metall ist $\alpha'' < \alpha < \alpha'$, folglich für klein α :

$$\operatorname{tg} n < 1, \operatorname{tg} m > 1, \text{ dunkle Mitte;}$$

beim Polarisationswinkel des Glases wird $\operatorname{tg} m = 1$, und nachher:

$$\operatorname{tg} n < 1, \operatorname{tg} m < 1, \text{ helle Mitte;}$$

noch später wird auch $\operatorname{tg} n = 1$ werden, und die Mitte wieder dunkel.

Weiter findet man:

$$\left(\frac{\sigma_0}{\sigma}\right)_0 = \frac{\cos(\mu+\nu)}{\cos(\mu-\nu)} \quad \left(\frac{\sigma_0}{\sigma}\right)_{\frac{\pi}{2}} = \frac{\sin(\mu-\nu)}{\sin(\mu+\nu)}$$

also im zurückgeworfenen Licht, welches in der Einfallsebene schwingt:

Ringe mit heller Mitte, wenn $(1 - \operatorname{tg}^2 \mu)(1 - \operatorname{tg}^2 \nu) > 0$
 dunkler

es ist aber unter allen Umständen $\operatorname{tg} \mu > 1$ und $\operatorname{tg} \nu < 1$, also stets dunkle Mitte.

10. Die Formeln (29) bis (36) sind nicht mehr brauchbar, wenn vollständige Zurückwerfung eintritt, weil dann, wenn es an der Gränze des zweiten und dritten Mittels geschieht, keine Welle in dem dritten Mittel entsteht. Man hat dann im dritten Mittel für ζ'' , ξ'' , η'' allgemeinere Integrale, als die bisherigen, zu setzen, nämlich:

$$\xi'' = \sigma'' \sin \alpha'' e^{2\pi \left(K + \frac{x \cos \alpha''}{\lambda''} \right) \sqrt{-1}}$$

$$\eta'' = \sigma'' \cos \alpha'' e^{2\pi \left(K + \frac{x \cos \alpha''}{\lambda''} \right) \sqrt{-1}}$$

$$\zeta'' = s'' e^{2\pi \left(K + \frac{x \cos \alpha''}{\lambda''} \right) \sqrt{-1}}$$

wobei, wenn n der Brechungsexponent zwischen dem zweiten und dritten Mittel ist,

$$\sin \alpha'' = n \sin \alpha' > 1, \cos \alpha'' = \sqrt{1 - n^2 \sin^2 \alpha'} = \sqrt{n^2 \sin^2 \alpha' - 1} \cdot \sqrt{-1}.$$

Die reellen Theile dieser Ausdrücke geben die wirklichen Bewegungen; also, wenn $q = \frac{1}{\lambda''} \sqrt{n^2 \sin^2 \alpha' - 1}$ ist.

$$\xi'' = \sigma'' n \sin \alpha' \cdot e^{2\pi q x} \cos 2\pi K$$

$$\eta'' = -\sigma'' \sqrt{n^2 \sin^2 \alpha' - 1} \cdot e^{2\pi q x} \sin 2\pi K$$

$$\zeta'' = s'' \cdot e^{2\pi q x} \cos 2\pi K.$$

Mit diesen Werthen erhält man für *normal* zur Einfallsebene schwingendes Licht:

für $x = 0$, wegen Gleichheit der Verschiebungen und Spannungen:

$$s'' = s_1 \cos f_1 + s' \cos f' \quad 0 = s_1 \sin f_1 + s' \sin f'$$

$$q s'' \frac{\lambda'^2}{\lambda' \cos \alpha'} = -s_1 \sin f_1 + s' \sin f' \quad 0 = s_1 \cos f_1 + s' \cos f'$$

und daher:

$$s' \cos f' = s_1 \cos f_1 = \frac{s''}{2}, \quad s' \sin f' = -s_1 \sin f_1 = q \frac{s''}{2} \frac{\lambda'^2}{\lambda' \cos \alpha'}$$

also, wenn man den Amplituden nur absolute Werthe giebt:

$$1) \ s' = s_1, \quad 2) \ \operatorname{tg} f' = -\operatorname{tg} f_1 = q \frac{\lambda'^2}{\lambda' \cos \alpha'} = \frac{n \sqrt{n^2 \sin^2 \alpha' - 1}}{\cos \alpha'}$$

Mit Benutzung dieser Werthe giebt für $x = d$ die Gleichheit der Verschiebungen und Spannungen:

$$2s' \cos(\gamma' - f') = s \cos(\gamma - f) + s_0 \cos(\gamma + f_0)$$

$$0 = -s \sin(\gamma - f) + s_0 \sin(\gamma + f_0)$$

$$0 = s \cos(\gamma - f) - s_0 \cos(\gamma + f_0)$$

$$2s' \frac{\sin 2\alpha'}{\sin 2\alpha} \sin(\gamma' - f') = s \sin(\gamma - f) + s_0 \sin(\gamma + f_0)$$

und daraus erhält man:

$$s \cos(\gamma - f) = s_0 \cos(\gamma + f_0) = s' \cos(\gamma' - f')$$

$$s \sin(\gamma - f) = s_0 \sin(\gamma + f_0) = s' \sin(\gamma' - f') \frac{\sin 2\alpha'}{\sin 2\alpha}$$

also:

$$3) s = s_0, \quad 4) \operatorname{tg}(\gamma - f) = \operatorname{tg}(\gamma + f_0) = \frac{\sin 2\alpha'}{\sin 2\alpha} \operatorname{tg}(\gamma' - f'), \quad f_0 = -f.$$

Das auffallende und zurückgeworfene Licht hat gleiche Amplituden und den Phasenunterschied $2f$.

Für das in der Einfallsebene schwingende Licht giebt für $x = 0$ die Gleichheit der Verschiebungen.

$$\sigma'' n \sin \alpha' = (\sigma_1 \cos \varphi_1 + \sigma' \cos \varphi') \sin \alpha'$$

$$0 = \sigma_1 \sin \varphi_1 + \sigma' \sin \varphi'$$

$$0 = \sigma_1 \cos \varphi_1 - \sigma' \cos \varphi'$$

$$- \sigma'' \sqrt{n^2 \sin^2 \alpha' - 1} = (\sigma_1 \sin \varphi_1 - \sigma' \sin \varphi') \cos \alpha'$$

woraus:

$$\sigma' \cos \varphi' = \sigma_1 \cos \varphi_1 = n \frac{\sigma''}{2}$$

$$\sigma' \sin \varphi' = -\sigma_1 \sin \varphi_1 = \frac{\sigma''}{2} \frac{\sqrt{n^2 \sin^2 \alpha' - 1}}{\cos \alpha'}$$

also:

$$5) \sigma' = \sigma_1, \quad \varphi' = -\varphi_1, \quad 6) \operatorname{tg} \varphi' = \frac{\sqrt{n^2 \sin^2 \alpha' - 1}}{n \cos \alpha'}$$

Vermittelst dieser Werthe erhält man für $x = d$ wegen Gleichheit der Verschiebungen:

$$2\sigma' \sin \alpha' \cos(\gamma' - \varphi') = \sin \alpha [\sigma_0 \cos(\gamma + \varphi_0) + \sigma \cos(\gamma - \varphi)]$$

$$0 = \sigma_0 \sin(\gamma + \varphi_0) - \sigma \sin(\gamma - \varphi)$$

$$0 = \sigma_0 \cos(\gamma + \varphi_0) - \sigma \cos(\gamma - \varphi)$$

$$2\sigma' \cos \alpha' \sin(\gamma' - \varphi') = \cos \alpha [\sigma_0 \sin(\gamma + \varphi_0) + \sigma \sin(\gamma - \varphi)]$$

woraus:

$$\sigma \sin(\gamma - \varphi) = \sigma_0 \sin(\gamma + \varphi_0) = \sigma' \frac{\cos \alpha'}{\cos \alpha} \sin(\gamma' - \varphi')$$

$$\sigma \cos(\gamma - \varphi) = \sigma_0 \cos(\gamma + \varphi_0) = \sigma' \frac{\sin \alpha'}{\sin \alpha} \cos(\gamma' - \varphi')$$

und daher:

$$7) \quad \sigma = \sigma_0, \quad \gamma - \varphi = \gamma + \varphi_0,$$

$$8) \quad \operatorname{tg}(\gamma - \varphi) = \operatorname{tg}(\gamma + \varphi_0) = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha'} (\gamma' - \varphi')$$

Die von Fresnel aufgestellte Formel für den Phasenunterschied bei vollständig zurückgeworfenem Licht ergibt sich aus den Werthen von φ_1 und f_1 . Man findet für diesen Unterschied aus 2) und 6);

$$\operatorname{tg}(\varphi_1 - f_1) = \operatorname{tg}(f' - \varphi') = \frac{\cos \alpha' \sqrt{n^2 \sin^2 \alpha' - 1}}{n \sin^2 \alpha'}.$$

Die Formeln 4) und 8) geben den Phasenunterschied des zurückgeworfenen Lichtes im ersten Mittel oder, wenn man wieder d sehr klein gegen λ' nimmt, den Phasenunterschied im vollständig zurückgeworfenen Licht für den Fall, dass man keinen plötzlichen Uebergang vom einen ins andere Mittel annimmt.

IV. Ueber die Messung der Inclinations-Variationen mittelst der Induction weicher Eisenstäbe; von Dr. J. Lamont.

Die Anwendung des weichen Eisens zu Inclinations-Bestimmungen ist ursprünglich von Brugmans in Vorschlag gebracht worden, blieb jedoch völlig unbeachtet, bis Lloyd, ohne von den längst in Vergessenheit verfallenen Arbeiten Brugmans' irgend eine Kenntniss zu haben, im Jahre 1843 mit demselben Vorschlage auftrat. Gleich nachdem Lloyd die erste Anzeige veröffentlicht hatte, fing ich an,

mit dem Gegenstande mich zu beschäftigen und insbesondere Instrumente zur Messung der Inclinations-Variationen herzustellen. Anstatt nach Lloyd's Vorgang einen einzigen Stab zu gebrauchen, wandte ich zwei an, die *beiderseits* der freien Nadel symmetrisch befestigt wurden, und zwar in der auf der Länge der Nadel senkrechten Ebene; ich untersuchte die Wirkung der Wärme und gab eine Methode an, den Werth der Theilstriche absolut zu bestimmen. Auch zeigte ich, daß die Inductionsfähigkeit des weichen Eisens mit der Zeit nachläßt, und zwar ungefähr in derselben Weise wie das magnetische Moment einer Nadel allmählich sich vermindert. Endlich erkannte ich, daß die Nadel in den Eisenstäben einigen Magnetismus inducirt, so zwar, daß der aus der Entfernung berechnete Angular-Werth eines Theilstriches eine Verbesserung erhalten muß. Meine Absicht bei gegenwärtiger Gelegenheit ist: unter Berücksichtigung aller bisherigen Erfahrungen die Methode anzugeben, wodurch eine sichere Bestimmung der Inclinations-Variationen mittelst weicher Eisenstäbe erlangt werden kann, wobei ich die allgemeinen Grundlagen, wie sie in meinem „Handbuche des Erdmagnetismus“ entwickelt sind, als bekannt voraussetze.

Was die Construction des Inclinations-Instruments betrifft, so werden die wesentlichen Bestandtheile und Bedingungen aus den drei Zeichnungen Fig. 19, 20, 21, Taf. I erkannt werden können. Fig. 19 ist eine perspectivische Ansicht: sie zeigt die freie Nadel *mm* (ohne Spiegel) aufgehängt an dem Coconfaden *ac* und die beiden ablenkenden Eisenstäbe *AB*, *A'B'*, welche in der auf der Mitte der Nadel senkrechten Ebene sich befinden. Die Stäbe sind an der hölzernen Schiene *CD* mittelst feiner Kupferdrähte aufgehängt, wodurch ihre unveränderte verticale Lage weit besser gesichert ist, als wenn man sie in einem Rahmen oder auf einer Schiene festmacht. Fig. 20 zeigt den verticalen Durchschnitt: *AB* und *A'B'* sind die weichen Eisenstäbe, *m* die freie Nadel, *NS* ein Hilfsmagnet, dessen Anwendung bei Bestimmung der Constanten des Instruments sogleich

erklärt werden wird. Die Durchschnittsebene ist senkrecht auf der Mitte der freien Nadel. Fig. 21 Taf. I ist die Projection auf den Horizont und zeigt die freie Nadel mm , die Durchschnitte der Eisenstäbe A und A' , das Ablesungsfernrohr F , die Scale pq mit dem dahinter befindlichen Beleuchtungsspiegel PQ und außerdem den bei der Untersuchung anzuwendenden Magnetstab ns .

Die freie Nadel hat eine Länge von $2\frac{1}{2}$ bis 3 Zoll und ist entweder einfach oder zusammengesetzt aus mehreren Lamellen (Stücken einer Uhrfeder), die durch kleine Messingblättchen verhindert werden sich zu berühren. Das Gewicht der Nadel mit dem Spiegel muß so gering seyn, daß ein gewöhnlicher Coconfaden ausreicht um sie zu tragen. Was die weichen Eisenstäbe betrifft, so kann man sie entweder aus einem prismatischen Stücke oder aus mehreren zusammengeschraubten Theilen bestehen lassen. Die Länge mag zu 12 Zoll angenommen werden; die runde Form ist nicht vortheilhaft.

Um die Constanten des Instruments zu bestimmen, müssen Ablenkungen unter vier verschiedenen Bedingungen vorgenommen, und damit noch eine Ablenkung der Declinationsnadel combinirt werden.

Vor Allem ist es nöthig den Winkel φ , um welchen die freie Nadel durch die Eisenstäbe vom Meridian abgelenkt wird, und den Einfluß der Eisenstäbe auf den Angularwerth der Theilstriche zu bestimmen. Zu diesem Zwecke wird vor dem Beobachtungsfernrohr der Magnetstab ns (Fig. 21, Taf. I) horizontal und senkrecht auf die Richtung der freien Nadel hingelegt und der Stand, den wir mit n_1 bezeichnen wollen, an der Scale abgelesen. Alsdann wird der Magnetstab umgelegt, d. h. in der horizontalen Ebene um 180° gedreht. Ist im letztern Falle die Ablesung der Scale n_2 und bezeichnet man das magnetische Moment der freien Nadel mit M' und das Drehungsmoment, welches der Stab auf dieselbe ausübt, mit N , den horizontalen Erdmagnetismus mit X , den wahren (aus der Entfernung abgeleiteten) Angularwerth eines Theilstriches mit ϵ' , den durch

die Anziehung der Eisenstäbe verminderten Werth mit $\frac{\epsilon'}{1+\alpha}$, so hat man:

$$M' X \cos \varphi (n_1 - n_2) \frac{\epsilon'}{1+\alpha} = 2N \quad . \quad . \quad (1)$$

Werden die Eisenstäbe entfernt und durch zwei seitwärts angebrachte Magnete $RS, R'S'$, welche die freie Nadel um den Winkel φ ablenken ¹⁾, ersetzt, dann die eben beschriebenen Operation wiederholt, so hat man, wenn die Scale-Ablesungen n_3 und n_4 gefunden wurden:

$$M' X \cos \varphi (n_3 - n_4) \epsilon' = 2N \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Endlich hat man, wenn mit demselben Magnetstab an einer Declinationsnadel von gleicher Gröfse und in gleicher Distanz eine Ablenkung vorgenommen und die Ablesungen n_5 und n_6 gefunden werden:

$$M' X (n_5 - n_6) \epsilon = 2N \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

wo ϵ den Werth eines Theilstriches des Declinations-Instrumentes bedeutet. Aus diesen Gleichungen erhält man.

$$1 + \alpha = \frac{n_1 - n_2}{n_3 - n_4} \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

$$\cos \varphi = \frac{(n_5 - n_6) \epsilon}{(n_3 - n_4) \epsilon'} \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Während, wie oben erwähnt, die seitwärts horizontal hingelegten Magnetstäbe die Nadel um den Winkel φ abgelenkt halten, bringe man vertical über dem Instrumente den Magnetstab NS (Fig. 20, Taf. I) an seine Stelle. Dieser Hilfsstab muß um eine horizontale Axe C in einer auf die Richtung der freien Nadel senkrechten Ebene drehbar seyn, und zwar wird derselbe zuerst in die horizontale Lage gebracht, wie in der Figur dargestellt ist. Um das Drehungsmoment, womit der Hilfsmagnet in dieser Lage die Nadel seitwärts ablenkt, zu erhalten, hat man die Wirkung zu bestimmen, welche das magnetische Element dm

1) Ob durch einen oder mehrere Stäbe die Ablenkung hervorgebracht wird, und welche Stellung man denselben giebt, ist gleichgültig: nur die eine Bedingung ist dabei zu erfüllen, daß durch die Stäbe der Nadel eine Directions-kraft nicht gegeben werde.

in der Entfernung x von der Mitte des Hilfsstabes auf das magnetische Element dm' in der Entfernung x' von der Mitte der freien Nadel ausübt, und dann die Gesammtheit dieser Wirkungen zu summiren. Bezeichnet man die Entfernung Cm mit e , die magnetischen Momente des Hilfsstabes und der freien Nadel mit M und M' , und das Drehungsmoment, welches der Hilfsmagnet auf die Nadel ausübt, mit $MM'Q$, so hat man

$$MM'Q = \iint \frac{xx'dmdm'}{(e^2 + x^2 + x'^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Wenn der Hilfsmagnet um 180° gedreht wird und für beide Lagen die Ablesungen der Scale n_7 und n_8 sind, so hat man

$$X \cos \varphi (n_7 - n_8) \varepsilon' = 2MQ \dots (6)$$

Befände sich der Hilfsmagnet genau über der Mitte der Nadel, so würde er in die verticale Lage $N'S'$ gebracht, keinen Einfluss auf die Nadel ausüben. Indessen kann diese Bedingung nicht mit Sicherheit erfüllt werden, und man muss den Einfluss bestimmen einmal mit Nordpol oben, dann mit Nordpol unten ¹⁾. Die Ablesungen in beiden Lagen wollen wir mit n_9 und n_{10} bezeichnen, so dass deren Differenzen $n_9 - n_{10}$ den doppelten directen Einfluss des Hilfsmagnets in verticaler Lage bedeutet.

Nun beseitige man die neben der Nadel hingelegten Magnete RS und $R'S'$, hänge die Eisenstäbe AB , $A'B'$ wieder auf, und bringe den Hilfsmagnet NS in die verticale Lage, mit Nordpol oben.

Betrachten wir ein Element dx'' des Stabes AB in der Entfernung x'' oberhalb der Mitte f des Stabes, so wird darin durch das in der Entfernung x von der Mitte des Hilfsstabes befindliche magnetische Element dm der Magnetismus

1) Es müssen Marken angebracht oder sonst auf irgend eine Weise die Stellungen des Hilfsmagnets *genau* bezeichnet werden, damit er bei den folgenden Versuchen *dieselben* Stellungen erhalte.

$$\frac{dmdx''(e' - x - x'')}{[(e' - x - x'')^2 + k^2]^{\frac{3}{2}}}$$

hervorgerufen werden, $e' = cd$ und $k = df$ gesetzt ist. Ohne auf die Theorie der Induction einzugehen ¹⁾ wird leicht begriffen werden können, dafs um die ganze auf den Eisenstab wirkende inducirende Kraft zu finden man nur diesen Ausdruck bezüglich auf die ganze Länge des Hülsmagnets und des Eisenstabes zu integrieren habe. Da dieses Integral die Länge des Stabes (die wir $= 2\lambda''$ setzen wollen) und das magnetische Moment M des Hülsmagnets als Factoren enthält, so kann dasselbe durch $2\lambda''MP$ bezeichnet werden. Nennt man für den Eisenstab $A'B'$ das analoge Integral $2\lambda''MP'$, und wird $eg = fd = k$ und $ce = e''$ gesetzt, so hat man

$$2\lambda''MP' = \iint \frac{dmdx''(e'' - x - x'')}{[(e'' - x - x'')^2 + k^2]^{\frac{3}{2}}}$$

Der freie Magnetismus, welcher in einem Punkte des Stabes AB entsteht, ist der inducirenden Kraft $2\lambda''MP$ und einer gewissen Function der Entfernung von der Mitte des Stabes proportional. Demnach wird auch das Drehungsmoment, welches der in AB hervorgerufene Magnetismus auf die Nadel ausübt, den Factor $2\lambda''MP$ enthalten und man wird das von beiden Stäben ausgeübte Drehungsmoment durch

$$2\lambda''MM'V(P+P') \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

darstellen können, wo V eine Function von λ' , λ'' , k ist, die wir nicht näher zu bestimmen brauchen. In der angegebenen Stellung wird der Hülfsstab NS die Ablenkung

- 1) Die Grundzüge der Theorie habe ich in dem Jahresbericht der Münchener Sternwarte für 1854 gegeben: eine vollständigere Darstellung wird demnächst erscheinen. Ich habe nicht blofs theoretisch, sondern auch durch Versuche nachgewiesen, dafs die Induction proportional ist dem Cosinus des Winkels, den die Axe des Stabes mit der Richtung der Kraft macht; ebenso habe ich gezeigt, dafs wenn auch der Stab schief gegen die Richtung der Kraft steht, die magnetische Axe mit der Längen-Axe des Stabes zusammenfallen wird, ein Umstand, worüber Zweifel ausgesprochen worden sind.

vermehrten, und wir wollen annehmen, daß der Stand bis auf n_{11} hinaufgehe. Dreht man aber den Hilfsstab um 180° , so daß das Nordende abwärts steht, so wird die Ablenkung vermindert, und man wird eine kleinere Ablenkung $= n_{12}$ erhalten. Die Differenz $n_{11} - n_{12}$ ist die doppelte Ablenkung, welche die Induction des Hilfsstabes hervorbringt.

Da aber, wie oben schon bemerkt wurde, nicht vorausgesetzt ist, daß der Hilfsstab genau vertical über der Mitte der Nadel sich befinde, so wird die Bewegung der Nadel $n_{11} - n_{12}$ auch die Aenderung enthalten, welche durch *directe* Wirkung des Hilfsstabes zu Stande kommt, und eben vorhin $= n_9 - n_{10}$ bestimmt worden ist. Wird diese Wirkung in Abzug gebracht, so erhält man

$$\left(\frac{n_{11} - n_{12}}{1 + \alpha} - (n_9 - n_{10}) \right) \varepsilon' X \cos \varphi = 4 \lambda'' M V (P + P') \quad (8)$$

Daraus folgt:

$$2 \lambda'' V = \frac{(n_{11} - n_{12}) \frac{1}{1 + \alpha} - (n_9 - n_{10})}{n_7 - n_8} \cdot \frac{Q}{(P + P')} \quad (9)$$

Betrachten wir nun das Inclinations-Instrument in seinem normalen Stande bei einer Ablenkung φ . Die Ablenkung φ wird theils durch den permanenten Magnetismus der Eisenstäbe, theils durch den Magnetismus welchen die verticale Intensität Y in denselben inducirt, zu Stande gebracht. Bezeichnet man das Drehungsmoment des permanenten Magnetismus der Stäbe mit AM' , und das Drehungsmoment des inducirten Magnetismus mit $BM'Y$, so hat man:

$$X \sin \varphi = A + BY \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Aendert sich der Stand des Erdmagnetismus, so daß X um δX und Y um δY zunehmen, so ändert sich auch der Stand der freien Nadel um n' Theilstriche und der Winkel φ geht in $\varphi + n' \frac{\varepsilon'}{1 + \alpha}$ über; da aber die Ablenkung vom jedesmaligen magnetischen Meridian gerechnet wird, so muß die Aenderung der Declinationsnadel, welche wir dem Obi-

gen zufolge mit $n\varepsilon$ bezeichnen wollen, abgezogen werden, und wir erhalten als wahren Ablenkungswinkel

$$\varphi + n' \frac{\varepsilon'}{1+\alpha} - n\varepsilon$$

Was das Drehungsmoment betrifft, welches durch die Vermehrung der Vertical-Intensität δY hervorgebracht wird, so erhalten wir dasselbe, wenn wir in dem Ausdrucke (7) anstatt $M(P+P')$ die Gröfse $2\delta Y$ substituiren. Hiernach hat man:

$$(X + \delta X) \sin\left(\varphi + \frac{n'\varepsilon'}{1+\alpha} - n\varepsilon\right) = A + BY + 4\lambda'' V \delta Y \quad (11)$$

Zieht man von dieser Gleichung die vorhin gefundene Gleichung (10) ab, so bleibt

$$\delta X \sin \varphi + X \cos \varphi \left(\frac{n'\varepsilon'}{1+\alpha} - n\varepsilon\right) = 4\lambda'' V \delta Y \quad (12)$$

Da $Y = X \operatorname{tg} i$ (wo i die magnetische Inclination bezeichnet) so hat man

$$\delta Y = \delta X \operatorname{tg} i + X \frac{\partial i}{\cos^2 i}$$

Diese Gleichung mit der letzteren combinirt giebt:

$$\delta i = \left(\frac{\varepsilon' n'}{(1+\alpha)\varepsilon} - n\right) \varepsilon \frac{\cos \varphi \cos^2 i}{4V\lambda''} + \frac{\delta X}{X} \left(\frac{\sin \varphi \cos^2 i}{4V\lambda''} - \frac{1}{2} \sin 2i\right) \quad (13)$$

Es bleibt uns jetzt noch übrig dem Werthe von V eine bequeme Form zu geben. Wenn man die Ausdrücke für P, P', Q nach den negativen Potenzen von e', e'', e entwickelt und sich überall mit den ersten Gliedern begnügt, so hat die Integration keine Schwierigkeit; will man dagegen die höheren Glieder berücksichtigen, so ist es nöthig das Vertheilungs-Gesetz des Magnetismus in der Nadel wie in dem Hülfsmagnet zu kennen. Da jedoch die höheren Glieder im Resultate immer sehr wenig ausgeben, so reicht es hin, einen Näherungswerth für das Vertheilungs-Gesetz anzunehmen. Ich setze deshalb

$$dm = A x \, dx$$

$$dm' = A' x' \, dx'$$

Bezeichnet man die halbe Länge des Hülfsmagnets und der Nadel mit λ , λ' , und ihre magnetischen Momente wie oben mit M , M' , so hat man

$$M = \int_{-\lambda}^{+\lambda} A x^2 dx = \frac{2}{3} A \lambda^3$$

$$M' = \int_{-\lambda'}^{+\lambda'} A' x'^2 dx' = \frac{2}{3} A' \lambda'^3$$

Substituirt man diese Werthe in den Ausdrücken für P und Q nach ausgeführter Integration, und wird die halbe Länge des Eisenstabes AB mit λ'' bezeichnet, so ergibt sich:

$$P = \frac{2}{e^3} \left(1 + \frac{\frac{9}{2} \lambda^2 + 2 \lambda'^2 - 3 k^2}{e^2} + \frac{\frac{9}{2} \lambda^4 + 6 \lambda^2 \lambda'^2 + 3 \lambda'^4 - 9 k^2 \lambda^2 - 15 k^2 \lambda'^2 + \frac{45}{2} k^4}{e^4} + \dots \right)$$

$$Q = \frac{1}{e^3} \left(1 - \frac{9}{10} \frac{\lambda^2 + \lambda'^2}{e^2} + \frac{\frac{45}{8} \lambda^4 + \frac{27}{10} \lambda^2 \lambda'^2 + \frac{45}{8} \lambda'^4}{e^4} + \dots \right)$$

P' erhält man einfach dadurch, daß man, in dem Werthe von P , e'' anstatt e' schreibt. Was die höheren Glieder betrifft, so kann man um ihren Betrag zu beurtheilen annehmen, daß bei gehöriger Wahl der Dimensionen $\frac{\lambda}{e}$ und $\frac{k}{e}$ etwa $\frac{1}{10}$, $\frac{\lambda''}{e'}$, etwa $\frac{1}{8}$ und $\frac{\lambda'}{e}$ etwa $\frac{1}{30}$ im Maximum betragen werden. Darnach erhält man folgende numerische Werthe:

$$P = \frac{2}{e^3} (1 + 0,013 - 0,00089 \dots)$$

$$Q = \frac{1}{e^3} (1 - 0,010 + 0,00009 \dots)$$

Man ersieht hieraus, daß es vollkommen hinreicht, die beiden ersten Glieder zu berücksichtigen.

Sind die Eisenstäbe, wie immer vorausgesetzt werden muß, von gleicher Größe und symmetrisch beiderseits des Magnets gestellt, und bezeichnet man $dm = me$ mit h , so folgt

$$e' = e - h \dots e'' = e + h$$

und hiernach geht die Gleichung (9) in folgende über:

$$4\lambda''V = \frac{(n_{11}-n_{12})\frac{1}{1+\alpha} - (n_9-n_{10})}{n_7-n_8} \times \\ \left(1 - \frac{2,1\lambda^2 + 0,9\lambda'^2 + 2\lambda'^2 - 3k^2 + 3h^2}{e^2}\right)$$

Auf der hiesigen Sternwarte werden die Variationen der Inclination zur Controle an zwei Instrumenten beobachtet; für das Hauptinstrument hat die Beobachtung am 28. Juli 1859 folgende Bestimmungen gegeben:

	Vormittags	Nachmittags
$n_1 - n_2$	61,00	60,95
$n_3 - n_4$	56,72	56,33
$n_5 - n_6$	47,27	47,02
$n_7 - n_8$	53,07	52,71
$n_9 - n_{10}$	0,37	0,35
$n_{11} - n_{12}$	27,06	26,65

Jede Bestimmung ist das Mittel aus zwei Versuchen. Die Werthe der Theilstriche aus den Entfernungen abgeleitet sind:

$$\varepsilon' = 0,9674$$

$$\varepsilon = 0,9478$$

Außerdem ist durch Messung gefunden worden:

$$e = 4,10 \text{ Fufs}$$

$$\lambda = 0,35$$

$$\lambda'' = 0,50$$

$$\lambda' = 0,14$$

$$k = 0,40$$

$$h = 0,50$$

Nimmt man das Mittel aus den oben gegebenen Werthen, so ergibt sich

$$1 + \alpha = 1,079$$

$$\varphi = 35^\circ 11'$$

$$4V\lambda'' = 0,2175$$

und da die Inclination $64^\circ 36'$ beträgt, so erhält man zur Berechnung der Inclinations-Variationen den Ausdruck

$$\delta i = 0',655 (n' \cdot 0,9462 - n) + 343' \cdot \frac{\delta X}{X}$$

Aus der Uebereinstimmung der obigen Beobachtungen kann man sich überzeugen, daß es keine Schwierigkeit hat, die für den Zweck nöthige Genauigkeit zu erlangen: zugleich beweist das gefundene Resultet wie weit man von der Wahrheit abgewichen wäre durch Annahme einer *vollkommenen* Inductionsfähigkeit bei den Eisenstäben und durch Vernachlässigung der übrigen oben angeführten speciellen Beschränkungen. Auf solche Weise hätte man nämlich

$$\delta i = 0',52 (n' \cdot 1,021 - n)$$

gefunden, und es ist einleuchtend, daß die Berechnung der Beobachtungen nach dieser Formel nicht bloß eine ganz unrichtige Gröfse, sondern auch eine ganz unrichtige Form der täglichen Inclinations-Curve geben würde. Nur eine Bedingung giebt es bei dem Inclinations-Instrumente, welche durch die Theorie gefordert wird, aber practisch schwer zu erreichen ist, nämlich die genaue verticale Stellung der Stäbe. Indessen wird man mittelst eines Lothes immer dahin kommen können, daß die Gestalt der täglichen Curve richtig erhalten, die absolute Gröfse aber nicht über $\frac{1}{20}$ von dem wahren Werthe abweichen wird.

V. *Ueber die eigenthümliche Beschaffenheit der täglichen Barometeroscillation in Madrid;*
von Dr. Lamont.

Die früher in der Meteorologie eingeführte Ansicht über das Bestehen einer Luft-Atmosphäre und einer davon unabhängigen Wasserdampf-Atmosphäre, deren Druck durch das Psychrometer zu bestimmen sey, habe ich schon vor

zwei Jahren als unzulässig nachgewiesen ¹⁾ und dargethan, daß das Psychrometer den von der atmosphärischen Feuchtigkeit auf das Barometer ausgeübten Druck nicht anzeige, vielmehr den Angaben desselben eine von der gewöhnlichen Annahme ganz verschiedene und in der Meteorologie sehr untergeordnete Bedeutung beigelegt werden müsse. Die Beziehungen dieses Satzes, zu dessen Begründung ich später noch einige Betrachtungen beigebracht habe ²⁾, reichen sehr weit: insbesondere werden dadurch die mannichfaltigen Folgerungen aufgehoben, welche auf den sogenannten »*Druck der trockenen Luft*« (den man durch Subtraction des Dunstdruckes vom Barometerstand erhielt) gegründet worden waren.

Zu den Problemen, welche man durch den »Dunstdruck« erklären wollte, und für welche jetzt eine andere Erklärung gesucht werden muß, gehört vor Allem die *tägliche Bewegung des Barometers*. Bekanntlich zeigt der Barometerstand in einigen Gegenden der Erde ein doppeltes, in anderen ein einfaches Maximum und Minimum, jedoch in solcher Weise vertheilt, daß ein einfaches Gesetz darin nicht zu erkennen ist. Eine richtige Grundlage glaube ich in neuester Zeit ³⁾ hergestellt zu haben, indem ich die tägliche Barometerbewegung in zwei Theile auflöste, wovon der eine eine 24stündige Periode hat und von der Aenderung der Temperatur herrührt, der andere aber in 24 Stunden zwei Maxima und Minima zeigt analog mit der Ebbe und Fluth des Meeres. Letztere Wirkung, die vom Aequator an gegen Norden und Süden allmählich abnimmt, kann, wie ich gezeigt habe, nur einer der Gravitation analogen Kraft der Sonne zugeschrieben werden; vorläufig habe ich eine elek-

1) Resultate aus den an der k. Sternwarte veranstalteten meteorologischen Untersuchungen, nebst Andeutungen über den Einfluß des Klima von München auf die Gesundheitsverhältnisse der Bewohner.

2) Jahresbericht der Münchener Sternwarte für 1858.

3) Monatliche und jährliche Resultate der an der k. Sternwarte bei München von 1825 bis 1856 angestellten meteorologischen Beobachtungen.

trische Anziehung der Atmosphäre durch die Sonne angenommen.

Den aus diesen Grundsätzen abgeleiteten Regeln zufolge sollte im mittlern und südlichen Europa die tägliche Barometer-Bewegung zwei Maxima von verschiedener Größe und zwei Minima von verschiedener Größe zeigen, und hiemit stimmen auch die Beobachtungen, die man an verschiedenen Punkten angestellt hat, überein. Nur in Madrid offenbart sich ein ganz abnormes Verhältniß, auf welches ich vor zwei Jahren, während meines Aufenthaltes daselbst, aufmerksam gemacht wurde; an diesem Punkte nämlich ist die tägliche Bewegung nahe um das Doppelte größer als an anderen Orten von gleicher geographischer Breite, und soll, den schon vor zwanzig Jahren gemachten Beobachtungen des Hrn. Delgado zufolge, nur ein Maximum und ein Minimum zeigen¹⁾. Ueber die Beobachtungen des Hrn. Delgado ist mir nichts näheres bekannt geworden: dagegen habe ich von Hrn. Professor Rico, welcher gegenwärtig auf der Madrider Sternwarte die meteorologischen und magnetischen Beobachtungen leitet, vom März 1859 anfangend monatliche Bulletins erhalten, wo die Beobachtungsergebnisse von 6^h und 9^h Morgens, 12^h Mittags, 3^h Nachmittags, 9^h und 12^h Nachts mitgetheilt werden. Die bis jetzt mir zugekommenen Resultate für Barometer und Thermometer sind wie folgt:

Barometer (Millimeter)							
1859	12 ^h	3 ^h	6 ^h	9 ^h	12 ^h	6 ^h	9 ^h
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
März	709,73	708,68	708,75	709,50	709,61	709,75	710,52
April	705,45	704,46	704,46	705,23	705,27	705,08	705,56
Mai	703,19	702,41	702,42	703,48	703,39	703,22	703,47
Juni	706,56	705,48	705,78	706,65	706,59	706,99	707,18
Juli	709,28	708,28	708,11	708,90	709,26	709,65	709,88
August	706,70	705,77	705,41	706,17	706,50	706,95	707,43

1) *Resumen de los trabajos meteorologicos correspondientes al año 1854 verificados en el real observatorio de Madrid bajo la Direccion de D. Manuel Rico y Sinobas, catedrático de Física en la Universidad central, p. 27.* Hr. Rico versucht, unter Berufung auf

Thermometer (Celsius)

1859	12h	3h	6h	9h	12h	6h	9h
März	15°,0	17°,2	14°,0	9°,6	7°,5	4°,2	8°,4
April	17°,7	19°,5	17°,1	13°,3	10°,4	9°,0	13°,7
Mai	17°,9	19°,0	16°,4	12°,9	11°,0	10°,0	14°,3
Juni	20°,9	22°,7	20°,9	16°,9	14°,7	13°,6	17°,7
Juli	31°,5	33°,6	31°,0	26°,0	22°,7	20°,3	26°,8
August	30°,2	31°,8	30°,0	25°,0	21°,8	18°,8	24°,4

Man könnte zwar diese Zahlen, wie sie sind, durch periodische Reihen darstellen; indessen habe ich vorgezogen die Stunde 3^h Morgens durch eine graphische Construction zu interpoliren, und dann das bekannte Verfahren ¹⁾ anzuwenden. Auf solche Weise ergaben sich für die n^{te} Stunde, vom mittlern Mittag an gerechnet, folgende Werthe:

Barometer (Pariser Linien).

März	314''',53+0'''	,269sin(15°n+176°40')-0''',207sin(30°n+153°18')
April	312°,57+0	,226sin(15°n+181°6')-0°,189sin(30°n+136°12')
Mai	311°,69+0	,183sin(15°n+210°27')-0°,172sin(30°n+142°50')
Juni	312°,99+0	,228sin(15°n+183°24')-0°,170sin(30°n+165°42')
Juli	314°,34+0	,339sin(15°n+182°8')-0°,145sin(30°n+143°24')
August	313°,17+0	,349sin(15°n+172°44')-0°,151sin(30°n+142°7')

Temperatur (Réaumur).

März	8°,14+4°,82sin(15°n+38°10')+1°,27sin(30°n+42°27')
April	10°,93+4°,36sin(15°n+44°34')+0°,46sin(30°n+61°11')
Mai	11°,10+3°,89sin(15°n+49°2')-0°,56sin(30°n+62°31')
Juni	13°,99+3°,95sin(15°n+45°4')-0°,29sin(30°n+61°23')
Juli	21°,15+5°,56sin(15°n+43°53')+0°,59sin(30°n+82°9')
August	20°,03+5°,50sin(15°n+39°37')+0°,66sin(30°n+77°40')

Eine Zunahme der Temperatur bewirkt stets ein Fallen des Barometers, und zwar nehme ich an, daß einem Grade Temperatur-Erhöhung eine Verminderung des Barometerstandes $= f$ entspreche. Die Wirkung tritt jedoch nicht augenblicklich, sondern nach einem gewissen Intervall (wir wollen sagen nach x Stunden) ein. Multiplicirt man hiernach die Temperatur-Reihen mit f und setzt man $n - x$

die Theorie des Hrn. Prof. Dove und eine Note des Hrn. Sabine zu der englischen Uebersetzung des »Kosmos«, den Gang des Barometers in Madrid durch den Dunstdruck zu erklären.

2) Dove's Repertorium der Physik Bd. II, S. 275.

anstatt n , so erhält man die Wirkung der Wärme auf das Barometer zu der n^{ten} Stunde. Ich habe, wie ich glaube, überzeugende Gründe beigebracht, um zu beweisen, daß wenn man die Wirkung der Wärme von der Barometer-Oscillation abzieht, das erste Glied gänzlich wegfällt, d. h. ich betrachte das erste Glied der obigen Barometer-Reihen als ganz von der Temperatur abhängig. Hiernach hat man z. B. für den Monat März:

$$0''',269 \sin^{\circ}(15n+176^{\circ}40') = -4^{\circ},82 f \sin(15^{\circ}n+38^{\circ}10' - 15x) \\ = 4^{\circ},82 f \sin(15^{\circ}n - 15x + 38^{\circ}10' + 180^{\circ}).$$

Hieraus kann f und x abgeleitet werden, und man erhält für die einzelnen Monate folgende Werthe:

	f	x
März	0,055	2 ^h 47'
April	0,053	2 54
Mai	0,047	1 6
Juni	0,058	2 47
Juli	0,061	2 47
August	0,064	3 8

Zieht man, wie eben angedeutet worden ist, die Wirkung der Temperatur von der Barometer-Oscillation ab, so bleiben noch folgende Glieder übrig:

März	0''',140 $\sin(30^{\circ}n + 160^{\circ}11')$
April	0 ,165 $\sin(30^{\circ}n + 133^{\circ}31')$
Mai	0 ,162 $\sin(30^{\circ}n + 134^{\circ}38')$
Juni	0 ,153 $\sin(30^{\circ}n + 166^{\circ}33')$
Juli	0 ,117 $\sin(30^{\circ}n + 133^{\circ}13')$
August	0 ,113 $\sin(30^{\circ}n + 134^{\circ}12')$

Dies ist der Theil der Barometer-Oscillation, welcher wie schon oben bemerkt wurde mit der Ebbe und Fluth des Meeres Analogie hat, und den ich deshalb als atmosphärische Ebbe und Fluth bezeichnet habe.

Vergleicht man die vorhergehenden Ausdrücke mit denen, die ich für München gegeben habe, so wird man vor Allem bei den Madrider Resultaten die weit geringere Uebereinstimmung der einzelnen Monate und den Mangel eines

regelmäßigen Ueberganges von einem Monate zum andern bemerken, eine natürliche Folge des Umstandes, daß die Zahlen aus einem *einzig*en und noch dazu sehr abnormen Jahrgange abgeleitet sind; im Ganzen stellt sich aber unzweideutig heraus:

- 1) daß die Temperatur in Madrid und München auf gleiche Weise den Luftdruck modificirt, die Wirkung jedoch am ersteren Orte bedeutend stärker ist (ungefähr $2\frac{1}{2}$ mal stärker) als am letzteren;
- 2) daß die Wirkung in Madrid wie in München ungefähr drei Stunden nach der Ursache eintritt;
- 3) Daß die atmosphärische Ebbe und Fluth in Madrid und München ganz in gleicher Weise, nur an ersterem Orte wegen der südlicheren Lage etwas stärker sich offenbart.

Als Schlußsatz folgt hieraus, daß die tägliche Oscillation des Barometers in Madrid nicht bloß keine Ausnahme bildet, sondern vollkommen mit der von mir aufgestellten Theorie übereinstimmt und eine merkwürdige Bestätigung derselben liefert.

VI. *Einige Versuche über Electricitäts-Entwicklung durch chemischen Proceß; von A. Wüllner.*

(Der Naturforschenden Gesellsch. zu Marburg mitgeth. am 20. Aug. 1859.)

Die Frage, welches die Ursache der in der Volta'schen Kette beobachteten Electricität sey, ob der Contact heterogener Substanzen oder die chemische Action, ist nach vielfacher Bearbeitung seit einiger Zeit so ziemlich ruhen gelassen worden, ohne daß ein entscheidender Sieg für die eine oder die andere der strittigen Ansichten erfolgt wäre. Während eine Reihe von Physikern die Einwände der HH. Faraday, de la Rive, u. a. gegen die Annahme einer Entstehung der hydroelektrischen Ströme durch Con-

tact für gewichtig genug halten, um die Volta'sche Theorie zu verlassen, hat eine wohl eben so große Anzahl, auf die Arbeiten der HH. Poggendorff, Fechner, Pfaff, Kohlrausch u. a. gestützt, dem Ausspruche des Hrn. Poggendorff¹⁾ beipflichtet: »dafs die Contacttheorie nicht widerlegt und die chemische Theorie nicht erwiesen sey.« Während für den Contactisten durch den Volta'schen Fundamentalversuch und durch das Fechner'sche²⁾ oder Pfaff'sche³⁾ *Experimentum crucis* eine Elektricitätsentwicklung durch Contact ausser Zweifel gestellt ist, indem im letztern Falle jede merkliche chemische Action, natürlich ausser der durch den Strom bedingten Zersetzung der feuchten Leiter, ausgeschlossen ist, im anderen sich ein Uebergewicht der Kette zeigte, in welcher keine chemische Action oder doch eine gegen die in der andern verschwindende stattfand, haben die Anhänger der chemischen Theorie solche *Experimenta crucis* nicht aufzuweisen. Denn wenn es auch nicht gelang alle Erscheinungen auf diesem strittigen Gebiete von dem Standpunkte der Contacttheorie aus zu erklären, so konnten doch wohl die Versuche, welche die Anhänger der chemischen Theorie zum Beweise einer Elektricitätsentwicklung durch chemischen Procefs anstellten, auf Contact heterogener Substanzen oder Thermoströme zurückgeführt werden. Es wird überflüssig seyn, hier die einzelnen Versuche durchzugehen, da sie so mannichfach und von so kompetenter Seite discutirt worden sind, dafs wohl angenommen werden darf, jeder habe sich sein Urtheil darüber gebildet.

Auch die theoretischen oder wenn man will philosophischen Gründe, welche u. A. Hr. Faraday (17. Reihe von Experimentaluntersuchungen über Elektricität S. 2066 bis 2073) gegen die Contacttheorie vorführt sind wie Hr. Helmholtz⁴⁾ nachwies, durch eine präcisere Fassung der Con-

1) Pogg. Ann. Bd. LVIII, S. 210.

2) Fechner, Maafsbestimmungen S. 54 und Poggend. Ann. Bd. LXII, S. 509.

3) Pogg. Ann. Bd. LIII, S. 306.

4) Ueber die Erhaltung der Kraft S. 46 bis 47.

tackkraft widerlegbar, so dafs es zum mindesten eine offene Frage ist, welches die Ursache der Elektricität in den hydroelektrischen Strömen sey.

Dieses zugegeben, darf doch wohl jetzt angenommen werden, dafs alle Physiker der Ansicht des Hrn. de la Rive ¹⁾ beipflichten werden, dafs wohl jeder Vorgang, welcher das moleculare Gleichgewicht störe, von Elektricitätserregung begleitet sey; so dafs die Streitfrage zwischen Contactisten und Anhängern der chemischen Hypothese nicht die ist, ob das eine oder das andere eine Quelle von Elektricität sey, sondern welche der beiden Kräfte eine, in oder bei dem Contact sich äufsernde oder die chemische Kraft die Hauptquelle der hydroelektrischen Ströme sey.

Wenn nun hier einige Versuche mitgetheilt werden sollen, welche auch für Anhänger der Contacttheorie den Beweis zu liefern scheinen, dafs eine chemische Action eine Elektricitätserregung veranlassen kann, so soll damit nicht zwischen den strittigen Theorien entschieden (wie ein jeder schon aus dem bisher bemerkten ersehen wird) sondern nur ein experimenteller Beitrag geliefert werden für jene wahrscheinliche Allgemeinheit der Elektricitätsentwicklung bei molecularen Vorgängen, welcher für den Contactisten bisher nicht vorhanden war.

Damit der chemische Procefs unzweideutig als Ursache eines elektrischen Stromes erkannt werde, mufs natürlich jede anderweitige vom Standpunkt der Contacttheorie mögliche Elektricitätsquelle ausgeschlossen seyn, der chemische Procefs also in einem homogenen Schließungsbogen oder doch in einem so geordneten erzeugt werden, dafs der Contact in demselben aufgehoben ist. Oder mit anderen Worten, da der chemische Procefs um einen Strom erzeugen zu können, jedenfalls eine bestimmte Richtung haben mufs, ist ein Verfahren anzuwenden, in welchem ihm diese Richtung ertheilt wird, ohne dafs ein einseitiger Contact dabei vorkommt. Ich habe vor einiger Zeit ein Verfahren angewandt und beschrieben ²⁾, um die Elektricitätsentwicklung

1) Pogg. Ann. Bd. XLVI, S. 495.

2) Pogg. Ann. Bd. CVI, S. 459.

beim Lösen von Salzen nachzuweisen, bei denen also ebenfalls solche Anforderungen an die Anordnung des Versuches gestellt werden mußten; einige bei jener Gelegenheit gemachte Beobachtungen machten mich auf die hier mitzutheilenden Versuche aufmerksam. Es zeigte sich nämlich¹⁾, daß bei einer doppelten Zersetzung, bei der ein Bestandtheil in Gasform frei wurde, ein Strom entstand. In die mittlere Zelle des damals beschriebenen Apparates wurde eine Lösung von doppeltkohlensaurem Natron gebracht, darauf eine Lösung von doppeltschwefelsaurem Natron hinzugesetzt und rasch der Kreislauf geschlossen. Sofort zeigte die Nadel eines Multipliers von 4000 Windungen feinen Kupferdrahtes einen Strom an, welcher so lange dauerte als die Gasentwicklung und im Apparate von unten nach oben, also in der Richtung der aufsteigenden Kohlensäure sich bewegte. Da keine andere Ursache des Stromes zu erkennen war und da die Dauer des Stromes mit der der Gasentwicklung also der der chemischen Action zusammenfiel, so schien der Schluss berechtigt, daß die im Apparate stattfindende Zersetzung als die Ursache des Stromes anzusehen sey.

Der etwas veränderte Apparat diente zu den jetzigen Versuchen. Aus zwei mehrmals stark vergoldeten (es war ungefähr ein Dukat darauf niedergeschlagen) Messingplatten von etwa 12^{cm} Durchmesser, Glasringen von etwas kleinerem Durchmesser und 1^{cm} Höhe, und porösen Thonplatten wurde ein Gefäß hergestellt, welches 4 von einander abzuhebende Zellen (von unten an gezählt *a*, *b*, *c*, *d*) hatte, dessen Boden und Deckel eben jene vergoldeten Platten bildeten. Ueber den auf die untere Metallplatte mit Kitt aus Colophonium und Wachs befestigten Glasring, also unter der ersten Thonplatte, wurde überdies noch eine doppelte thierische Membran ausgebreitet. In der Zelle *c*, welche also von der oberen Platte durch eine, von der untern durch zwei Zellen und die doppelte thierische Membran getrennt war, sollte der chemische Proceß erzeugt werden.

1) A. a. O. S. 471.

Poggendorff's Annal. Bd. CIX.

Zunächst wurde nun um die Metallplatten auf ihre Homogenität zu prüfen der ganze Apparat mit destillirtem Wasser gefüllt und jede Metallplatte mit einem Ende eines physiologischen Multipliers von 20080 Windungen verbunden. Die vorher wohlgereinigten ganz gleichmäßig behandelten Platten zeigten sich vollständig gleichartig. Die Nadel verlief ihre Ruhelage nicht, weder im ersten Augenblicke noch bei dauerndem Schlufs, oder es zeigten sich nur ganz unbedeutende Schwankungen nach beiden Seiten, welche sehr bald aufhörten.

Nachdem so die Platten sich als gleichartig bewiesen hatten, mußte ich mich zunächst überzeugen, daß eine Elektrizitätsquelle, welche in dem nach beiden Richtungen gleichmäßig geordneten Schließungsbogen, in einer Zelle des Gefäßes angebracht wurde, einen Strom durch den Multiplier hindurchgehen machte, und daß nicht die Nebenschließungen in der Flüssigkeit eine vorhandene Elektrizitätsentwicklung für die Beobachtung verschwinden machten. Zu dem Ende legte ich auf den Boden der Zelle (c) einen Bausch von Fließpapier, auf diesen einen Kupferstreifen und auf diesen eine Zinkplatte. Es zeigte sich dann eine sehr heftige Ablenkung der Nadel, so zwar, daß ich den feinen Multiplier nicht anwenden durfte. Die Nadel eines Multipliers von 4000 Windungen des gleichen Kupferdrahtes wurde um 40° bis 50° abgelenkt. Legte ich die Zinkplatte auf das Fließpapier, darauf den Kupferstreifen, so kehrte sich der Strom natürlich um.

Es wurde, nachdem also insoweit die Brauchbarkeit der Methode gezeigt war, nun aus der mittleren Zelle (c) etwas Wasser entfernt, statt dessen reine Schwefelsäure zugesetzt, und der Apparat wieder geschlossen. Es war auch dadurch in der Gleichmäßigkeit des Schließungsbogens nach beiden Seiten hin nichts geändert, da die in der Zelle (c) enthaltene verdünnte Schwefelsäure nach beiden Seiten hin durch die Thonplatten mit destillirtem Wasser in Verbindung stand, und da auch die Diffusion nach beiden Seiten hin merklich gleich war. Ein lange dauernder Schlufs des

Kreislaufes zeigte nun auch, daß die Gleichartigkeit hinreichend lange dauere, daß es geraume Zeit erforderte ehe die Schwefelsäure durch Diffusion mit einer der Platten oder mit beiden in verschiedener Concentration in Berührung kam und so durch den Contact des Goldes mit der Flüssigkeit ein Strom entstand, denn nach einer Viertel-Stunde zeigte sich noch keine Ablenkung der Nadel.

Es mußte nun gezeigt werden, daß bei dem Einbringen eines Metalls in die mittlere Zelle (c), welches keine Zersetzung des sauren Wassers veranlafste, etwa dadurch, daß der Contact des auf der mit der Flüssigkeit durchdrungenen Unterlage aufliegenden Metalles mit dieser immerhin etwas anders seyn konnte als an der andern Seite mit der Flüssigkeit kein Strom erzeugt wurde. Zu dem Ende wurde wieder in die jetzt mit angesäuertem Wasser erfüllte Zelle ein kleiner viereckiger Bausch von Fließpapier gebracht, und auf dieser dann, nachdem er von der Flüssigkeit durchfeuchtet war, ein Platinblech gelegt. Nach geschlossenem Kreisläufe verhielt sich jedoch die Nadel genau wie früher, sie verlief entweder die Ruhelage gar nicht, oder zeigte nur unbedeutende Schwankungen.

Nachdem nun durch diese häufig wiederholten Vorversuche die Brauchbarkeit des Apparates, sowie erwiesen war, daß durch die eben erwähnte mögliche Contactverschiedenheit ein Strom nicht erzeugt wurde, wurde das kreisförmige Platinblech durch ein derartiges Zinkblech ersetzt; sofort trat eine Entwicklung von Wasserstoff ein und als der Kreislauf mittelst des feinen Multiplicators geschlossen war, zeigte die Nadel eine Ablenkung, welche allmählich bis auf 80° stieg und nach kurzer Zeit bei 75° constant wurde. Der Sinn der Ablenkung wies nach, daß der Strom im Apparate von unten nach oben, also in der Richtung des aufsteigenden Wasserstoffgases circulierte. Der gleiche Erfolg wurde bei mehreren Versuchen erhalten, und als statt des Multiplicators von 20080 Windungen jener von 4000 Windungen eingeschaltet wurde, war auch dort eine Ablenkung

zu beobachten, welche bei mehreren Versuchen constant zwischen 5° und 8° betrug.

Wurde die Zelle (c), in welcher der chemische Proceß stattfand, ausgeschaltet und der Kreislauf ohne dieselbe geschlossen, so zeigte sich der entgegengesetzt gerichtete Polarisationsstrom.

Nach dem vorigen steht es nun jedenfalls fest, *dafs der Sitz der Quelle des beobachteten Stromes die Zelle (c) ist*, jene in der der chemische Proceß eingeleitet wurde, und *dafs mit oder durch die Einwirkung des gesäuerten Wassers auf das Zink* der Strom entstand; es fragt sich nun: sind wir berechtigt den chemischen Proceß selbst als diese Quelle anzusehen oder kann irgend eine in Folge des chemischen Processes eingetretene Contactverschiedenheit die Ursache des Stromes seyn.

Zunächst läßt sich nun gegen die erstere Annahme einwenden, *dafs die Gasentwicklung an beiden Seiten des Zinkblechs vor sich geht, dafs aber die Gasblasen an der oberen Seite aufsteigen, an der unteren aber gegen die Platte gedrückt werden, und dafs so eine Aenderung im Contact des Zinks mit der verdünnten Säure an den verschiedenen Seiten eintrete.* Dem muß aber erwidert werden, *dafs eine solche Aenderung selbst nach den Principien der Contacttheorie keinen Strom zur Folge haben kann.* Zunächst ist klar, *dafs nur ein Theil der Platte auf der untern Seite mit Wasserstoff bedeckt seyn kann, nicht aber die ganze Platte wie die Fortdauer des Stromes zeigt.* Denn wenn die ganze untere Seite mit Wasserstoffblasen bedeckt wäre, so *dafs die Flüssigkeit das Metall gar nicht mehr berührte*, so wäre die Platte, da Gase den galvanischen Strom nicht leiten, mit einer nichtleitenden Schicht überzogen. Als ich aber künstlich eine solche nichtleitende Bedeckung herstellte, indem ich die Platte mit einer Wachsschicht an der einen Seite überzog, zeigte sich gar kein Strom wenn die so präparirte Platte in die mit saurem Wasser gefüllte Zelle gelegt wurde. Die Fortdauer des Stromes zeigt also, *dafs die Flüssigkeit auch an der untern Seite noch mit dem Metalle in Berührung war.* Wenn nun auch die Berührungsfläche

an der untern Seite nicht dieselbe Ausdehnung hatte, wie an der oberen Seite, so kann das nach den Principien der Contacttheorie keinen Strom zur Folge haben, da nach diesen die Größe der Berührungsflächen ohne Einfluss ist auf die elektromotorische Kraft einer Combination.

Ein anderer Einwurf konnte daher genommen werden, dass sich der Fließpapierbausch auf welchem die Zinkplatte auflagert mit einer Lösung von schwefelsaurem Zinkoxyd anfüllte, und dass es der Contact des Zinkes mit dem Zinksalze sey, welcher den Strom veranlasse. Dieser Einwurf ist jedoch auch theoretisch nicht haltbar und überdies durch Versuche widerlegt. Was das erste anbelangt, so ist klar, dass sich sowohl auf der Zinkplatte als unter derselben schwefelsaures Zinkoxyd bildet, und dass, wenn sich der Papierbausch mit einer solchen Lösung trinkt, immerhin auch etwas dieser Lösung auf der oberen Seite gelagert bleibt, dass daher auch der Contact des Metalles mit dem Salze auf beiden Seiten stattfindet und keinen Strom zur Folge haben kann.

Wenn aber eingewandt werden konnte, dass die Salzlösung in dem Fließpapier sich ansammle, während sie auf der obern Seite der Platte durch die geneigte Lage derselben und die durch das Aufsteigen der Gasblasen entstehende Bewegung der Flüssigkeit nicht lagern bleibe, und dass demnach der Contact mit der concentrirteren Lösung auf der untern Seite der Platte den Strom veranlasse, so liefs sich dieser Einwand leicht experimentell prüfen dadurch, dass der Papierbausch vorher mit einer Lösung reinen Zinkvitriols getränkt wurde. Es zeigte sich dann eine entgegengesetzte Ablenkung der Nadel, welche nach und nach abnahm zu 0 wurde und in die früher beobachtete überging. Ebenso wurde die Zinkplatte auf einen mit Zinkvitriol getränkten Papierbausch gelegt, während die mittlere Zelle nur Wasser enthielt, auch hier zeigte sich eine Ablenkung der Nadel, welche anzeigte, dass der Strom im Apparate von oben nach unten circulirte, dass sich das Metall negativ gegen die Salzlösung verhielt.

Wäre also der beobachtete Strom Folge des Contactes

der im Fließpapier enthaltenen Salzlösung mit dem Metalle, so hätte er die entgegengesetzte Richtung haben müssen. Daraus erklärt sich dann sofort wie in dem eben erwähnten Versuche, als der Papierbausch in dem sauren Wasser mit schwefelsaurem Zinkoxyd getränkt war und darauf die Zinkplatte gelegt wurde, die Ablenkung der Nadel erst eine der frühern entgegengesetzte war, allmählich zu Null wurde und später in die früher beobachtete übergang. Der anfängliche Strom war Folge des Contactes des Metalls mit der Lösung des Zinksalzes. Diese diffundirte nach und nach in der Flüssigkeit; dadurch und durch die elektromotorische Kraft, welche den früher beobachteten Strom hervorrief, wurde der Contactstrom abgeschwächt, bis er von dem Strom überwogen wurde, welcher sich zeigte, wenn im Papierbausch keine Lösung von Zinkvitriol enthalten war.

Darnach ist nun der Schluss berechtigt, dass der Contact des Zinkes mit dem Zinksalze nicht den beobachteten Strom erzeugt habe.

Die möglichen Aenderungen in der gleichmäßigen Ordnung nach beiden Seiten des Schließungsbogens scheinen diese zu seyn, so dass nach dem bisher Ausgeführten der Schluss berechtigt erscheint, dass die beobachteten Ströme nicht durch irgend welchen Contact entstehen. Ehe ich nun entwickle, wie nach meiner Ansicht der chemische Process die Ursache des Stromes ist, will ich noch einige Versuche mit anderen Zersetzungen erwähnen.

Zunächst beobachtete ich bei einer Zersetzung von Schwefeleisen einen ebenso gerichteten und ungefähr gleich starken Strom. Nachdem der Apparat in gleicher Weise wie zu den vorigen Versuchen eingerichtet war, wurde auf einen größeren Papierbausch Schwefeleisen grob gestossen ausgebreitet. Nach eingetretener Gasentwicklung und geschlossenem Kreislauf zeigte die Nadel einen im Apparat von unten nach oben circulirenden Strom bei einer Ablenkung von 70° bis 80° .

Ebenso wurde auf dem Fließpapierbausch bei anderen Versuchen gröblich zerschlagene Kreide ausgebreitet. Auch hier zeigte sich stets nach eingetretener Zersetzung ein

Strom, welcher die Nadel in dem früheren Sinne bei mehreren Versuchen gegen 70° ablenkte.

Bei den Versuchen mit Kreide ist der zweite der vorhin beleuchteten Einwürfe, daß der Strom Folge sey eines Contactes der Kreide mit dem sich bildenden Salze, dem schwefelsauren Kalke, gar nicht möglich, da trockene Kreide sowohl als Gyps Nichtleiter des Stromes sind.

In allen diesen Versuchen kann also irgend ein Contact nicht Ursache des beobachteten Stromes seyn, Thermostrome können es, wie jeder sofort sieht, ebensowenig seyn. Da nun der einzige Vorgang im Innern des Apparates, der chemische Proceß ist, so muß dieser als die Ursache des Stromes angesehen werden. Durch diesen entsteht der Strom etwa folgendermaßen.

Das in dem sauren Wasser liegende Zinkblech zieht vermöge der chemischen Verwandtschaft den Sauerstoff an. Dadurch erhalten die Wassermoleküle, welche das Zink umgeben, eine bestimmte Richtung, indem die Sauerstoffatome der zusammengesetzten Moleküle sich dem Metalle zuwenden, die Wasserstoffatome nach der entgegengesetzten Seite gerichtet sind. Die Bestandtheile des Wassers sind jeder für sich elektrisch, der Sauerstoff ist mit negativer, der Wasserstoff mit positiver Elektrizität geladen. Dadurch werden nun die Schichten der Flüssigkeit, welche die an dem Metall anliegenden umgeben, ebenfalls gerichtet, und diese Richtung pflanzt sich durch die ganze Flüssigkeit, natürlich durch den einmaligen Proceß nur als eine theilweise, nicht alle Moleküle umfassende bis zu den Begrenzungen fort. Zunächst ist das auf beiden Seiten der Zinkplatte nach oben und nach unten hin gleich, durch diesen ersten Vorgang kann sich also kein Strom bilden. Im weiteren Verlaufe stellt sich die Sache jedoch anders. Auf der obern wie auf der untern Seite verbindet sich nun der Sauerstoff mit dem Zinke, der Wasserstoff wird frei. An der obern Seite kann er frei entweichen, da er in der Flüssigkeit emporsteigen kann, an der untern wird aber das entbundene Gas durch die Flüssigkeit gegen die Platte ge-

drückt und bedeckt dieselbe zum Theil. An der obern Seite kann sich daher der Proceß in vollem Maasse wiederholen, an der untern nur theilweise, nach der einen Seite wird daher die Richtung der Wassermoleküle in einem größern Maasse sich wiederholen, oder es werden die Moleküle der Flüssigkeit vorherrschend so gerichtet seyn, daß die elektropositiven Wasserstoffmoleküle nach oben, die elektronegativen Sauerstoffmoleküle nach der untern Seite der Flüssigkeitsschichten hin liegen. Wie nun in Leitern zweiter Classe, welche nur elektrolytisch leiten, der Strom nur durch eine solche Richtung der Moleküle zwischen den Electroden fortgepflanzt und unterhalten wird, so auch hier. Die Richtung der Moleküle veranlaßt den Strom und da die Einwirkung des chemischen Processes an der Zinkplatte dieselbe bleibt, so dauert der Strom fort.

Bei anderen Zersetzungen ist die Sache *mutatis mutandis* dieselbe, weshalb eine nähere Ausführung, welche im Wesentlichen nur eine Wiederholung des zuletzt dargelegten seyn würde, überflüssig erscheinen mag. Die Versuche mit der Zersetzung des Wassers durch Zink sind jedenfalls die, welche den Vorgang am deutlichsten hervortreten lassen. Deswegen möge folgender Versuch hier noch Platz finden, welcher einerseits noch einen Beleg hinzufügt, daß der Strom nicht vom Contact des Zinkes mit dem Zinkvitriol herrührt, andererseits die angeführte Anschauungsweise zu rechtfertigen scheint. Als auf den Papierbausch in der mit saurem Wasser angefüllten Zelle (c) ein ringförmig gebogenes Zinkblech, welches fast die Höhe der Zelle hatte, mit der unten zugeschärften Kante aufgelegt wurde, zeigte sich kein Strom, obwohl der chemische Proceß kräftig eingeleitet war und von dem cylinderförmigen Bleche eine Menge von Gasblasen aufstieg. Hier war jedenfalls ein einseitiger Contact des Zinks mit der Lösung des gebildeten schwefelsauren Zinkoxyds vorhanden, indem das gebildete Salz an den Wänden des Cylinders auf den Papierbausch herabsank. Daß kein Strom beobachtet wurde zeigt, daß wenigstens so lange der Versuch dauerte (und

es wurde ebenso lange, ja noch länger als bei den andern Versuchen gewartet), die auf dem Papierbausch lagernde Lösung nicht concentrirt genug war, um einen merklichen Strom durch Contact mit dem Metalle zu bewirken. Denn der vorhin angeführte Versuch mit den Zink- und Kupferstreifen zeigte, dafs trotz bedeutender Nebenschließungen ein Strom durch den Multiplicator ging, wenn eine Elektrizitätsquelle von nicht sehr grossem Querschnitt im Apparat war.

Der Versuch spricht aber auch für die angegebene Ansicht über die Entstehung des Stromes. Denn hier wo kein Unterschied nach den verschiedenen Richtungen hin in der Ausdehnung des chemischen Processes vorhanden war, konnte auch keine vorherrschende Richtung der Moleküle, d. i. kein Strom auftreten.

Schliesslich sey noch die Bemerkung gestattet, dafs wenn auch diese Versuche den experimentellen Beweis selbst für Nichtanhänger der chemischen Hypothese zu liefern scheinen, dafs eine chemische Action einen Strom zur Folge haben kann, es doch wohl ungerechtfertigt seyn würde daraus zu schliessen, dafs es in den hydroelektrischen Strömen die chemische Action sey, welche den Strom erzeuge. Dem stehen die eingangs erwähnten Fundamentalversuche von Volta, Pfaff, Fechner entgegen; diese und besonders die Versuche der letzteren zeigen kräftige Ströme in Folge des Contactes, oder, wie Hr. Pogendorff sich präcise ausdrückt, in Folge einer in oder beim Contact sich äufsernden Kraft. Meine Absicht war, ich wiederhole es, einen Beitrag zu liefern für jene wahrscheinliche Allgemeinheit der Elektrizitätsentwicklung bei Vorgängen, welche das molekulare Gleichgewicht stören in einem Falle, der zwar für Anhänger der chemischen Theorie keinem Zweifel unterworfen, für diejenigen der Contacttheorie jedoch noch nicht experimentell erwiesen war.

Marburg im October 1859.

VII. *Ueber die elektrischen Ströme und die Spannungsgesetze bei den Elektrolyten;*
von L. Schmidt in Halle.

Nachdem durch Nobili ¹⁾ und Fechner ²⁾ die Existenz der Hydroströme experimentell erwiesen war, die sich in vorher gemachten Untersuchungen überall durch Metallketten erklären ließen ³⁾, und Letzterer auch Anregung zur Untersuchung möglicher Thermohydroströme gegeben hatte, stellte Wild ⁴⁾ für die Elektrolyte geltende, bestimmte Gesetze auf, nach denen das Volta'sche Spannungsgesetz auch den Elektrolyten, zwar nicht allgemein, sondern bestimmten Gruppen derselben unter sich zukäme; er fand ferner, daß sie, auch der thermo-elektrischen Erregung fähig, dem thermo-elektrischen Spannungsgesetz gehorchten, bei denen dies in elektrischer Beziehung der Fall war; ja endlich ging aus seinen Untersuchungen eine merkwürdige Uebereinstimmung der gefundenen thermo-elektrischen Spannungsreihe mit der gewöhnlichen der Radicale der betreffenden Salze hervor.

Diese Untersuchungen und das Interesse, das für physikalische und chemische Theorien aus ihnen hervorgeht, veranlaßten mich zur Wiederaufnahme derselben, vor Allem der Frage:

Ist es rein zufällig oder hat es einen innern Zusammenhang, daß die thermo-elektrische Spannungsreihe dieselbe ist wie die der Radicale dieser Elektrolyte?

Dazu erschien es aber nothwendig:

1) das von Wild experimentell nur für die Gruppe RS aufgestellte Spannungsgesetz zu erweitern, und

1) Pogg. Ann. Bd. 14, S. 157. (1828).

2) Dieselben Bd. 48. S. 1 u. 225.

3) Becquerel *Ann. de chim. et phys. T. XXV, p. 122*; de la Rive *Ann. de chim. et phys. T. XXXIX.*

4) Pogg. Ann. Bd. CIII, S. 3. (1858).

2) zu untersuchen, welches denn die gewöhnliche Spannungsreihe der betreffenden Gruppen sey.

Offenbar wenn letztere dieselbe wäre wie die der Raddiale, wäre allerdings die von Wild gefundene Uebereinstimmung nicht widerlegt; sie würde aber das überraschende, der Theorie nach schwer erklärliche Resultat geben, daß die thermo-elektrische Spannungsreihe mit der gewöhnlichen bei den Elnktrolyten identisch sey.

I.

I. Erweiterung des Volta'schen Spannungsgesetzes über die Gruppen $\overset{\cdot\cdot}{\text{RS}}, \overset{\cdot\cdot}{\text{RN}}, \text{RCl}$ der Elektrolyte.

Eine Hauptbedingung für das Gelingen dieser äußerst subtilen Untersuchungen ist die chemische Reinheit der dem Versuch zu unterwerfenden Substanzen; schon Wild macht darauf aufmerksam, und mancherlei Umstände während des Experimentirens wiesen mich darauf hin, daß in vielen Fällen der richtige Erfolg allein von dieser Bedingung abhing. Ich erhielt sie zum Theil durch die Güte des Hrn. Prof. Heintz aus dem hiesigen chemischen Laboratorium der Universität, oder aus einer hiesigen Apotheke, wo sie ein mir befreundeter Chemiker für mich darstellte. Sie wurden, wenn sie in Wasser löslich waren, in wässeriger Lösung mit Hülfe des von Wild angegebenen Apparats angewandt; waren sie es nicht, mit Hülfe eines besonders von mir dazu construirten Instruments als feuchte oder trockne Scheiben. Mit Hülfe eines genauen Geißler'schen Aräometers bestimmte ich die specifischen Gewichte und die Temperaturen der Lösungen; erstere bewegten sich sämmtlich zwischen 1,05 und 1,15. Die Lösungen wurden natürlich auf gleiche Temperaturen gebracht zur Verhütung eines möglichen Thermostroms.

Der zur Strommessung angewandte Multiplicator war ein von Dubois in Berlin gefertigtes Galvanometer. Es gehört dem hiesigen Institut der physiologischen Anatomie an, von wo ich es durch die Güte des Directors Hrn.

Prof. Dr. Volkmann erhielt. Es hatte 20300 Windungen. Da seine Nadel (im Stadium der Ruhe) nicht auf den Nullpunkt der Theilung zeigte, so mußte sie mittelst eines Eisenstabes corrigirt werden. Bestimmte Messungen über ihre Empfindlichkeit, der Größe des Widerstandes im Kupferdraht, habe ich nicht angestellt. Nach einer Vergleichung mit Wild's Multiplicatorwiderstand aber beträgt er etwa das 11000fache des Jacobi'schen Etalon. Wie bedeutend aber die Empfindlichkeit des Instruments ist, ersieht man daraus, daß das bloße Anfassen der Enddrähte mit einem Finger eine Ablenkung der Nadel von 20° und mehr bewirkte.

Für Flüssigkeiten benutzte ich also Wild's Apparat, jedoch mit einigen mir zweckmäßig erscheinenden Aenderungen. Ich fand es für gut die Elektrodenkapseln nicht an die Röhren anzukitten, sondern anzuschleifen, weil ich fürchtete durch Berührung des Kittes und der Flüssigkeit, die nie ganz zu hindern ist, Nebenströme zu erhalten, wie ich zum Beispiel bei Verschluss einer nicht mehr recht schließenden Kapsel durch Baumwachs wegen der chemischen Einwirkung des Chlorkupfers auf dasselbe die elektrische Differenz der Elektroden zu keiner Constanten bringen konnte. Die Elektroden selbst waren übrigens, um die Differenz von Anfang an so klein als möglich zu haben, von demselben Kupfer- oder Zinkblech gefertigt. Ich schlug aber den von Wild eingeschlagenen Weg der Verkupferung resp. Verzinkung nicht ein, da ich ohne dieselbe in kürzerer Zeit zur Constanten gelangte, die allerdings höher als die von Wild gefundenen, jedoch niedrig genug waren geringste secundäre Ströme zu messen. Es genügte dies um so mehr, als ich keiner messenden Untersuchungen zu bedürfen glaubte.

Bei dem Bestimmen der Constanten, sowie beim Aufbauen der Flüssigkeitsketten, wurde in ganz derselben Weise verfahren und dieselben Vorsichtsmafsregeln getroffen, wie sie Wild zur Genüge angewandt und erörtert hat.

Zur Untersuchung unlöslicher Substanzen (größtmöglich-

ster Vollständigkeit halber) liefs ich folgenden Apparat machen:

Auf ein parallelepipedisches Brett waren mittelst metallener Hülsen vier starke Glasstäbe in gerader Linie neben einander befestigt. Von diesen trugen die beiden äusseren zwei festgekittete Metallkapseln, die durchbohrt eine Mikrometerschraube trugen. Die beiden inneren Glasstäbe trugen mittelst metallener mit Tuch ausgeschlagener Hülsen zwei einander im Durchmesser gleiche Glasröhren, so dafs sie an einander geschoben werden können. Wo sie an einander stossen, sind sie durch Schleifen genau an einander geprefst. In ihnen bewegt sich ein Stempel von Metall mit metallener Stange, die durch einen Kork geht und am freien Ende einen durchbohrten und mit einer Klemmschraube versehenen Knopf trägt. Leichter der Manipulation halber waren die die Röhren tragenden Hülsen zerschnitten und die obere Hälfte durch Charniere an die untere auf die Röhre gekittete befestigt. Mittelst einer Schraube wurden beide Theile an einander an- und die Glasröhre fest in sie eingeprefst. Die Mikrometerschraube stiefs gerade auf den ausserhalb der Röhre befindlichen Stangenknopf und trieb ihn, sobald er gedreht wurde, weiter in die Röhre hinein. Zwei auf dem Brett noch befindliche Klemmschrauben verbanden die Galvanometerenden mit den Stangenknöpfen durch Verbindungsdrähte.

Der Theorie nach müssen also drei dem Spannungsgesetz gehorchende Substanzen a , b und c bei ihrer Verbindung zur Kette die Resultate 0 geben nach der Formel

$$R = a - c + c - b + b - a = 0,$$

wo nicht, eine andere, wenn $a - c = k$, $c - b = l$,

$$R = k + l + b - a.$$

$R=0$ unter der Voraussetzung, dafs die Constante $=0$ ist, was bei diesen Untersuchungen nie der Fall war. Dann aber mufs die Kette dieselbe Stromintensität ergeben, wie die Constante. Um sich zu vergewissern, dafs bei Veränderung der Constanten man es nicht mit einer andern elektromotorischen Kraft, sondern nur mit einer Veränderung

des Leitungsvermögens in der Kette zu thun habe, wurde, wie Wild ebenfalls gethan, die Ordnung der Salze umgekehrt. War dann die secundäre Ablenkung dieselbe wie vorher, so konnte man sicher seyn, dafs eine neue Kraft nicht in der Kette wirke.

Um mich nun experimentell mittelst meines höchst empfindlichen Galvanometers von den Wild'schen Untersuchungen zu überzeugen, untersuchte ich noch einmal die Reihe der neutralen schwefelsauren Salze von der Formel $R\ddot{S}$, und zwar zunächst die löslichen der Radicale K, Na, Mg, Ni, Mn, Zn, Fe, Cu, Co, und fand das Gesetz der galvanischen Spannung für sie vollkommen bestätigt.

Darauf untersuchte ich die neutralen salpetersauren Salze derselben Formel Cu, Sr, Na, K, Mg, Co, Pb, Ba, Ca, Ag, Zn, und fand das Spannungsgesetz für sie ebenfalls bestätigt, ebenso endlich für die untersuchten Chlorsalze derselben Formel der Radicale Ba, Cu, Ca, Mg, Fe, Na, K, Hg, Zn, Sr.

Ebenso stellte sich heraus, dafs das Gesetz in der That nur innerhalb dieser Gruppen gilt und nicht für Ketten aus Salzen verschiedener Säuren, verschiedener Zusammensetzung oder mit Säuren.

Der von mir angegebene Apparat war also bestimmt die Untersuchungen durch die der unlöslichen Salze zu vervollständigen. Da nun auch einige dieser Salze durch das Wasser zersetzt werden, so versuchte ich ihre Anwendung auf trockenem Wege. Dieser Methode stellten sich nun aber zwei Bedenken entgegen, einmal ob es möglich sey, die in Pulvern anzuwendenden Salze auch vollkommen homogen zu machen, dann, ob die Elektrolyte im vollkommen trockenen Zustande Leiter seyen oder nicht. Das erste Bedenken glaubte ich dadurch zu beseitigen, dafs ich die Salze zerrieb und durch Müllergaze siebte. Ein solches mehlartiges Pulver brachte ich nun (es war $K\ddot{N}$) in eine der beiden Glasröhren und pefste es mittelst zweier metallener Stempel zu einer Scheibe zusammen. Die Dicke

der Scheibe betrug 5^{mm}. Es zeigte sich ein mit dem Grade des Zusammendrückens bis zu 7° wachsender Strom. Als ich nun die Röhre mit Pulver und Stempeln mehrere Tage liegen gelassen und sie dann von Neuem mit dem Galvanometer in Verbindung setzte, fand ich einen Strom von 11°, der zu 13° wuchs. Der Strom erreichte also keine Constante, und dies schien nur davon herrühren zu können, daß das Pulver Wasser angezogen hatte. Um mich davon zu überzeugen, daß nur dadurch die Leitung verbessert sey, goß ich eine einen Zoll lange, dicke Glasröhre mit geschmolzenem Salpeter aus, ließ die Stange langsam erkalten und versuchte nun den Strom, den der Wild'sche Apparat mit verdünnter Schwefelsäure gab, (die Nadel wurde durch ihn an die Hemmung geworfen) durch die Stange hindurch zu leiten; die Nadel rührte sich nicht von der Stelle, während nach einigen Tagen derselbe Strom eine Intensität der hindurchgegangenen Elektrizitätsmenge von 3° zeigte. Es schien mir daraus hervorzugehen, daß die wasserfreien Elektrolyte wenigstens für solche Ströme als absolute Nichtleiter betrachtet werden können ¹⁾. Dies schien mir aber, wenigstens für die sich nicht zersetzenden Salze, kein Hinderniß bei der Methode zu bleiben; ich brauchte ja nur das hygroskopische Wasser zu vermehren um die Leitungsfähigkeit der Stangen zu erhöhen. Ich brachte also zu der vorher angewandten Scheibe von $\overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{K}}} \overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{N}}}$ einen Tropfen Wasser und der Strom wuchs von 11° auf 27°. Ich ließ die Kette 6 Stunden geschlossen und erhielt einen constanten Strom von 15°, der auch am anderen Tage noch derselbe war.

- 1) In einer Abhandlung „Ueber die Elektrolyse höherer Verbindungsstufen“ (Ann. der Chem. und Pharm. Band CX, Heft 3) führt Buff an, daß mehrere Elektrolyte auch im gewöhnlichen wasserfreien Zustande leiten. Man ersieht aber aus dem angeführten Beispiele (unter dem Einfluß von 16 Bunsen'schen Paaren wurde durch Bleichlorid eine Elektrizitätsmenge getrieben, die aus $\overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{Ag}}} \overset{\cdot\cdot}{\underset{\cdot\cdot}{\text{N}}}$ in Zeit von 100 Stunden nur 6 Mgr. Silber niedergeschlagen haben würde), daß für die Intensität der Hydroströme die wasserfreien Elektrolyte dennoch als absolute Nichtleiter anzusehen sind.

Die Constante der Elektrodenplatten wurde auf folgende Art bestimmt. Auf jedem der Stempel wurde um sie vor unmittelbarer Berührung mit dem feuchten Pulver zu schützen ein Scheibchen Fließpapier gelegt und dann eine der gepulverten, mit ein Paar Tropfen Wasser zu einem steifen Brei angefeuchteten Substanzen zu gleichen Hälften (2^{mm} bis 3^{mm} dick) auf jeden geschichtet. Die Röhren wurden dann so in ihrem Lager befestigt, daß sie sich mit den abgeschliffenen Rändern innig berührten, jedoch mittelst eines beide Röhren trennenden Stückes Fließpapier. Mittelst der Mikrometerschrauben wurden die Stempel und die Pulver in der Röhre vorgeschoben, daß sie sich innig jedoch ohne die Papiermembrane zu zerreißen, berührten. Sofort erschien ein meist so starker Strom, daß er mittelst eingeschalteten Widerstandes reducirt werden mußte. Größeres Zusammendrücken der Substanzen bewirkte hier keine Erhöhung der Stromintensität, sobald die Pulver nur selbst die Metalle und sich selbst innig genug berührten; außerdem vernied ich auch wo möglich das Zusammenpressen, da dadurch die Feuchtigkeit hinter die Stempel getrieben werden und Irrthümer veranlassen konnte. War die Constante erreicht, so wurden die Röhren getrennt, die darin erhaltenen Substanzen mittelst eines dritten in die Röhren passenden, erst in der Säure des betreffenden Salzes, dann in einer concentrirten Lösung desselben wohl abgespülten metallischen Stempels in die Röhre zurückgeschoben und die beiden andern feuchten Salze auf die eine und andere Elektrodenscheibe geschichtet, die Berührung möglichst innig bewerkstelligt, und nun beide Röhren von Neuem mit den Substanzen an einander gebracht. Die Einschaltung zweier Scheiben konnte aber die Constante durch Veränderung der Leitung modificiren; ich suchte mich also darüber ins Klare zu bringen, indem ich die Constante mehrerer Pulver suchte und nun auf beiden Seiten neue etwa 4^{mm} dicke Scheiben desselben Salzes aufschichtete. Zwischen diesen und den Elektrodenscheiben konnte wegen der symmetrischen Anordnung kein Strom entstehen. Indessen auch der

vermehrte Leitungswiderstand verschwand gegen die schon vorhandenen, denn ich erhielt durchaus die Constante unverändert wieder. Bei diesen Untersuchungen schien es mir, und es ist leicht erklärlich, als wenn die elektrolytischen Substanzen in Form bloß angefeuchteter Pulver bedeutend besser leiteten als in Lösungen auch von stärkster Concentration. Es scheint also, als wäre die Leitungsfähigkeit der Elektrolyte als trockne Substanzen am geringsten, als erreiche sie für feuchte ihr Maximum und nehme dann wieder ab mit dem Grade der Verdünnung.

Ein Bedenken noch schien den in dieser Weise auszuführenden Untersuchungen entgegen zu stehen, ob sich nicht etwa die Feuchtigkeiten der Scheiben so mit einander vermischten, daß sie durch Berührung der neuen Flüssigkeit mit dem Metall die Constante modificirten. Daß die dem Spannungsgesetz gehorchenden Flüssigkeiten sich vermischten, schadete nichts, um aber zu verhindern, daß sie die Metalle berührten, wurde darauf gesehen, daß die Elektrodensubstanzen feuchter waren als die aufgeschichteten; so konnte eine stattfindende Vermischung nur von den Elektroden weg, nicht zu ihnen hingehen. Außerdem wurden, da es sich als unnöthig herausgestellt hatte, die Substanzen nicht durch die Stempel gepreßt, sondern nur eben in Berührung gesetzt.

Vorläufige Untersuchungen mit in dieser Hinsicht schon bekannten löslichen Salzen gaben mir hinreichende Sicherheit über die Anwendbarkeit dieses Verfahrens. Die Constante wurde stets mit neuer Substanz gesucht.

Endlich aber versuchte ich, diese Methode auch für die sich im Wasser zersetzenden Substanzen anzuwenden, indem ich eine ihrer Untersuchung sehr günstige Elektroden-substanz fand. Diefes war bei den schwefelsauren Salzen nämlich CaS , bei den salzsauren CuCl , das erstere wegen seiner Eigenschaft, auch nachdem es ganz hart geworden, doch von seiner Leitungsfähigkeit als weicher Brei nichts zu verlieren, das andere, da es schon Feuchtigkeit genug

in sich enthielt, um nicht erst angefeuchtet werden zu müssen, die es nicht leicht abgiebt. Die Constante also wurde mittelst dieser Salze bestimmt, dann die beiden anderen Salze ohne befeuchtet zu seyn in sehr dünner Scheibe aufgefüllt, schnell combinirt ohne zwischen liegendes Fließpapier und die Schließung, da die Constante vermindert ward, nur augenblicklich bewerkstelligt. Schnell wurden dann die Salze umgekehrt geordnet und die neue Combination beobachtet. Obgleich hierbei mit möglichster Genauigkeit und Vorsicht verfahren ist, verkenne ich keineswegs die, für diese Substanzen wenigstens, aus dieser Methode hervorgehende Unsicherheit. Indessen führten die Untersuchungen doch zu befriedigenden Resultaten und füllten ziemlich gut die vorhandenen Lücken aus.

Auf diese Weise wurden noch folgende Substanzen untersucht: Pb S , Ba S , Sn S , Hg S , Pb Cl und Sn Cl ; auch für sie gilt das Spannungsgesetz, und man kann es nun allgemein aussprechen:

»Das galvanische Spannungsgesetz gilt für alle neutralen Salze von der Formel R S , R N , R Cl und diesen entsprechende Verbindungen; im Allgemeinen gilt es aber nicht für die Elektrolyte, ja es treten im Allgemeinen Ströme auf, die bedeutend sind, wenn man sie mit den Metallen vergleicht.«

2. Aufstellung der Spannungsreihe obiger elektrolytischer Verbindungsgruppen.

Nachdem das Spannungsgesetz seine Erweiterung über obige Gruppen gefunden, handelte es sich darum, ob die Spannungsreihe dieser Gruppen dieselbe oder eine andere wäre, wie die der betreffenden Radicale. Offenbar mußten sie sich zu einer Spannungsreihe ordnen lassen; über sie selbst konnte nur das Experiment bestimmte Auskunft geben.

Nach dem Rathe des Hrn. Prof. Knoblauch, in dessen physikalischem Laboratorium diese Untersuchungen alle auszuführen mir von diesem gütigst gestattet wurde, wurde

ganz so verfahren, als wollte man eine Metallkette bilden. Diefs geschah auf folgende Art: Mit Hülfe des Wild'schen Apparats wurde erst die Constante der Elektrodenplatten mit der sie berührenden Flüssigkeit wie früher gesucht, auf beiden Seiten dann mittelst der Pipette die Flüssigkeiten wieder herausgesogen bis auf eine Menge von etwa 5^{cm} Höhe. Dann wurden die zwei zu vergleichenden Flüssigkeiten aufgefüllt bis auf einen Abstand vom Boden des Kästchens von 12^{mm}, worauf die Kette durch eine verdünnte Säure geschlossen wurde. Das dieser Methode zu Grunde liegende Princip war offenbar folgendes: Es ist zu bestimmen, welche der beiden Flüssigkeiten positiv wird, welche negativ. War b positiv gegen c und auch positiv gegen eine dritte e , diese aber positiv ebenfalls gegen c , so war die Reihe offenbar $b : e : c$; war dagegen e negativ gegen c , so ist sie $b : c : e$. Diese Methode, wenn sie ausführbar war, mußte leichter und eben so sicher zum Ziele führen als eine schwierige Compensationsmethode. Durch obige Methode aber wurde diefs erreicht. Denn wenn sich die drei dem Spannungsgesetz gehorchenden Flüssigkeiten allein berührten, so entstand kein secundärer Strom; bewirkte aber denselben eine eingeschaltete Säure zwischen den oberen Flüssigkeiten, so war dieser allein erzeugt durch die elektrische Differenz dieser beiden. Die Elektrodenflüssigkeit ist hier nur Leiter, wie man sofort aus der Formel ersieht:

$$R = a - b + b(d + d)c + c - a = b(d + d)c.$$

wo a die Spannungszahl der Elektrodenflüssigkeit, d die der schließenden Säure ist.

Da nun aber das Leitungsvermögen der Salze viel geringer ist als das der verdünnten Säuren (nach Horsford ist der Leitungswiderstand des CuS fast 13Mal größer als der von S von 1,1 Dichte) so wäre es leicht möglich, daß die verbesserte Leitungsfähigkeit der Kette durch die Säure zu Irrthümern Veranlassung geben könnte. Um mich davon zu überzeugen, füllte ich den Apparat erst ganz mit einer

Lösung von $\text{Cu}\ddot{\text{S}}$ vom spec. Gewicht 1,17 und erhielt eine constante Ablenkung von 23° . Dann nahm ich die Flüssigkeit aus dem Kasten und den Röhren bis 12^{mm} Abstand vom Boden des Kastens, füllte verdünnte $\ddot{\text{S}}$ vom spec. Gewicht 1,02 darauf. Drei Versuche aber ergaben übereinstimmend keine Veränderung der Constante. Bei so geringem spec. Gewicht der Säuren war also keine Veränderung der eigentlichen elektromotorischen Kraft zu fürchten. Es war übrigens, wie ich sah, ganz gleich, wie hoch die Säure im Kästchen stand, wenn nur die Leitung zwischen beiden Schenkeln vollkommen war. Undeutliche secundäre Ablenkungen wurden wie früher durch Veränderung der Reihenfolge der Kettenglieder corrigirt.

Es lag nun nahe zunächst die Reihenfolge der Salze aufzustellen, deren Radicale schon geordnet waren: Zn, Sn, Fe, Cu, Ag. In der Gruppe der schwefelsauren Salze waren untersuchbar $\text{Zn}\ddot{\text{S}}$, $\text{Fe}\ddot{\text{S}}$, $\text{Cu}\ddot{\text{S}}$. Es resultirte aus den Versuchen das Gesetz:

»Die Spannungsreihe der neutralen schwefelsauren Salze $\text{R}\ddot{\text{S}}$ ist dieselbe wie die ihrer Radicale.«

Salze	Radicale
$\text{Zn}\ddot{\text{S}}$	Zn
$\text{Fe}\ddot{\text{S}}$	Fe
$\text{Cu}\ddot{\text{S}}$	Cu.

Die mit den Salzen $\text{Zn}\ddot{\text{N}}$, $\text{Pb}\ddot{\text{N}}$, $\text{Fe}\ddot{\text{N}}$, $\text{Cu}\ddot{\text{N}}$ und $\text{Ag}\ddot{\text{N}}$ angestellten Versuche führten zu der Reihe der

Salze	Die Radicale
$\text{Zn}\ddot{\text{N}}$	Zn
$\text{Pb}\ddot{\text{N}}$	Pb
$\text{Fe}\ddot{\text{N}}$	Fe
$\text{Cu}\ddot{\text{N}}$	Cu
$\text{Ag}\ddot{\text{N}}$	Ag,

woraus dasselbe Gesetz für diese Gruppe resultirt. Endlich

ordneten sich die salzsauren Salze Zn Cl , Fe Cl und Cu Cl zu derselben Reihe, folglich ist es ein Gesetz, „dafs die neutralen Salze der Formeln $\text{R}\ddot{\text{S}}$, $\text{R}\ddot{\text{N}}$ und R Cl dieselbe Spannungsreihe haben wie ihre Radicale“, und wahrscheinlich ist es, dafs Folgendes allgemein gilt:

»Diejenigen Elektrolyte, die unter sich in Gruppen dem Spannungsgesetz gehorchen, haben dieselbe Spannungsreihe wie ihre Radicale.«

Diese Thatsache aber macht die Erklärung der Wild'schen Thatsache sehr schwierig, und ich habe mir noch keine zu geben vermocht.

Zugleich aber scheinen mir die gemachten Experimente den sichersten Beweis für die Contacttheorie zu enthalten.

In einer Combination wie $\text{Zn}\ddot{\text{S}}$, $\ddot{\text{S}}$, $\text{Cu}\ddot{\text{S}}$ ist der von $\text{Cu}\ddot{\text{S}}$ durch den Multiplicator zum $\text{Zn}\ddot{\text{S}}$ gehende Strom allein Wirkung der elektrischen Potentiale der beiden Salze. Es kann aber hier offenbar von einem chemischen Einflusse der $\ddot{\text{S}}$ auf die Salze ebensowenig wie von durch $\ddot{\text{S}}$ hervorgerufenen Temperaturunterschieden die Rede seyn; findet doch dieselbe Erscheinung statt, wenn Salze $\text{R}\ddot{\text{N}}$ durch $\ddot{\text{N}}$, Salze B Cl durch H Cl verbunden wurden. Mir scheint es, als wenn wir es hier durchaus mit dem Volta'schen Fundamentalversuche ähnlichen Erscheinungen zu thun haben, als wenn hier allein der Contact der Atome verschiedener Substanzen fließende Elektricität hervorgerufen. Ich glaube sicher, dafs man einen Strom wird hervorrufen können durch Verbindung von $\text{Zn}\ddot{\text{S}}$ mit $\ddot{\text{S}}$ und ebenso von $\text{Zn}\ddot{\text{S}}$ mit $\text{Cu}\ddot{\text{S}}$, wenn man erst Ketten aus nur zwei flüssigen Leitern bestehend construirt haben wird, und halte somit die Contacttheorie für die einzige, die so umfangreiche Erscheinungen, wie sie die Ketten bieten, vollkommen umfaßt. Aus der Vergleichung obiger Kette mit der Zink-Kupferkette ging hervor, dafs die Stromesrichtung in beiden dieselbe ist. Am Kupferende austretend geht der positive Strom durch den Schließungsdraht zum Zink. Der Contact

nun weist uns auf die von Berzelius und Faraday vermutheten polaren Erscheinungen mit Entschiedenheit hin. $\text{Zn}\ddot{\text{S}}$ wird positiv, $\text{Cu}\ddot{\text{S}}$ negativ an ihren Berührungsstellen mit $\ddot{\text{S}}$. Nehmen wir mit Daniell an, daß bei der Elektrolyse das Metall allein nach dem negativen, Säure mit Sauerstoff combinirt nach dem positiven Pole wandere, oder wie Buff sagt ¹⁾ daß die Säure Träger der negativen Elektricität, Metall der positiven sey, so wird im $\text{Zn}\ddot{\text{S}}$ die Elektricität durch die Berührung mit $\ddot{\text{S}}$ so vertheilt seyn, daß Zn wesentlich positiv, SO_4 negativ elektrisch ist. Die negative Schicht der angränzenden Schwefelsäure muß also eine andere Lagerung der Salzatome bewirken, das Metall wird angezogen, die Säure abgestoßen; in gleicher Weise ordnen sich die Schichten in der $\text{Zn}\ddot{\text{S}}$ -säule und die oberste wird negativ seyn. Umgekehrt ist die Erscheinung am Kupfer und der Schließungsdraht bringt ein Ausgleichen der positiven Elektricität am Kupferende mit der negativen am Zinkende hervor. Eine andere zur Schließung verwandte Säure aber kann eine solche Vertheilung bewirken, daß sie am Zink- und Kupferpole die Säure $\ddot{\text{S}}$ vollkommen aus ihrer Verbindung trennt, und selbst mit dem Metall eine innigere Verbindung eingeht; die Wirkung dieser Säure auf die Säure der Salze kann sich als Strom nicht zeigen, da sie auf beiden Seiten gleich ist; ihre Wirkung auf die Basen muß der auf die Metalle gleich seyn. So fand ich in der That durch NO_3 einen Strom von gleicher Richtung in obiger Kette, doch von geringerer Intensität. Nach dem Obigen scheint es auch, als wenn der elektrische Strom nicht immer Auskunft über chemische Processe geben könne, z. B. darüber, ob man in einer Lösung $\text{Na}\ddot{\text{S}}$ mit K das K oder Na an die Schwefelsäure gebunden habe.

Endlich aber geben obige Untersuchungen ein Mittel an die Hand, diese Seite des physikalischen Charakters von Radicalen zu bestimmen, deren Natur in dieser Hinsicht

1) In der citirten Abhandlung.

man mit den bisherigen Hilfsmitteln nicht zu erkennen vermochte; ich meine: einfach ist es nun, die Stellen noch nicht placirter Radicale in der Spannungsreihe zu bestimmen, da wir ja nur die ihrer Salze zu suchen brauchen.

II.

Ich stellte mir also diese Aufgabe in diesem zweiten Theile meiner Untersuchungen. Dazu war natürlich der einfachste Weg der, die zu untersuchenden Salze zwischen die schon bekannten einzuschalten. Ich will nur eine der Versuchstabellen hier anführen, und zwar die der Gruppe R S angehörige: ¹⁾

Elektroden	links	rechts	Const.	secundärer Strom
K S	Na	Zn	— 44°	— 52°
	Zn	Na	— 46	— 32
	Mg	Zn	+ 18	+ 23
	Zn	Mg	+ 18	+ 11
	Mg	Na	— 18	+ 7
	Mg	Fe	— 18	— 29
	Fe	Mg	— 18	— 5
	Mn	Zn	+ 18	+ 6
Mg S	Mn	Zn	+ 18	+ 13
	Mn	Na	+ 15	+ 11,5
	Mn	Na	+ 15	+ 12
	Na	Mn	+ 15	+ 16
	Mn	Cu	+ 16	+ 25
	K	Zn	+ 9	+ 7
	Zn	K	+ 9	+ 18
	Fe	K	+ 9	+ 15
Cu S	K	Mg	+ 21	+ 22,5
	Mg	K	+ 21	+ 19

»In folgender Reihe schwefelsaurer Salze ist also bei

- 1) Das Variiren der Constanten in bedeutenderem Maasse kommt theils durch Vertauschung der Schenkel, theils durch das Anstellen der Versuche zu verschiedenen Zeiten. Unter der Bezeichnung »secundärer Strom« ist die durch die Kette aus drei Salzen und der Säure bewirkte Stromintensität, unter »Constante« die elektrische Differenz zwischen den Elektrodenplatten verstanden.

Berührung je zweier mittelst ihrer Säure das voranstehende jedesmal positiv gegen das folgende:

Mn \ddot{S} die resultirende Reihe der Radicale: Mn

Na \ddot{S} " " " " " Na

Zn \ddot{S} " " " " " Zn

Mg \ddot{S} " " " " " Mg

K \ddot{S} " " " " " K

Fe \ddot{S} " " " " " Fe

Cu \ddot{S} " " " " " Cu.

Aus der Untersuchung der Gruppe der dem Spannungsgesetz unterworfenen Salze der Säure \ddot{N} resultirt die Reihe:

Na \ddot{N} ; also die der Radicale: Na

Zn " " " " " Zn

Mg " " " " " Mg

Ca " " " " " Ca

K " " " " " K

Pb " " " " " Pb

Cu " " " " " Cu

Sr " " " " " Sr

Ba " " " " " Ba

Ag " " " " " Ag

Co " " " " " Co

endlich ordnen sich die salzsauren Salze zu der Reihe:

Na Cl; also der Radicale: Na

Zn " " " " " Zn

Sn " (?) " " " " Sn

Mg " " " " " Mg

Ca " " " " " Ca

K " " " " " K

Cu " " " " " Cu

Sr " " " " " Sr

Ba " " " " " Ba

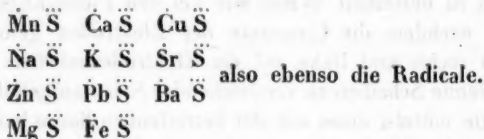
Ag " " " " " Ag.

Auch hier war es wieder wegen der Unlöslichkeit meh-

enderer Salze nicht möglich die Flüssigkeitsreihen in aller Vollständigkeit aufzustellen; diese Salze mußten also wieder in Scheibenform untersucht werden. Die Combinationen wurden in derselben Weise wie bei den Flüssigkeiten gemacht; nachdem die Constante der Elektroden gefunden, wurden rechts und links auf die Elektrodensubstanz möglichst dünne Scheiben zu vergleichender Salze aufgefüllt und die Kette mittelst eines mit der betreffenden Säure befeuchteten Stückes Fließpapier geschlossen. Weder die dünnen Scheibchen, noch das angefeuchtete Papier ergaben übrigens Leitungsveränderungen. Zunächst wurden die sich zersetzenden Salze unberücksichtigt gelassen. In der Reihe der schwefelsauren Salze blieben $\text{Pb}\ddot{\text{S}}$, $\text{Ba}\ddot{\text{S}}$, $\text{Ca}\ddot{\text{S}}$, $\text{Sr}\ddot{\text{S}}$ zu bestimmen. Bei ihnen allen konnten die Scheiben angefeuchtet werden. Dabei wurden die Salze in der Kette so geordnet, daß der Wahrscheinlichkeit nach eine Erhöhung der Constanten eintreten mußte, weil dadurch der Einwand möglicher Leitungsverminderung von selbst gehoben wurde. Im Uebrigen wurde in gleicher Weise wie früher bei Erweiterung des Spannungsgesetzes verfahren. Einige vorläufige Versuche mit schon bekannten Salzen ergaben auch hier die nöthige Sicherheit.

$\text{Ca}\ddot{\text{S}} + \text{Zn}\ddot{\text{S}} + \overset{\rightarrow}{\text{S}} + \text{Na}\ddot{\text{S}} + \text{Ca}\ddot{\text{S}}$	Stromdifferenz	20°
$\text{Ca}\ddot{\text{S}} + \text{Na}\ddot{\text{S}} + \text{S} + \text{Mn}\ddot{\text{S}} + \text{Ca}\ddot{\text{S}}$	„	10
$\text{Ca}\ddot{\text{S}} + \text{Mg}\ddot{\text{S}} + \text{S} + \text{Zn}\ddot{\text{S}} + \text{Ca}\ddot{\text{S}}$	„	13
Es ergab sich:		
$\text{Ca}\ddot{\text{S}} + \text{Sr}\ddot{\text{S}} + \text{S} + \text{Cu}\ddot{\text{S}} + \text{Ca}\ddot{\text{S}}$	„	20
$\text{Ca}\ddot{\text{S}} + \text{Ba}\ddot{\text{S}} + \text{S} + \text{Sr}\ddot{\text{S}} + \text{Ca}\ddot{\text{S}}$	„	10
$\text{Cu}\ddot{\text{S}} + \text{Pb}\ddot{\text{S}} + \text{S} + \text{K}\ddot{\text{S}} + \text{Cu}\ddot{\text{S}}$	„	43
$\text{Cu}\ddot{\text{S}} + \text{Ca}\ddot{\text{S}} + \text{S} + \text{Zn}\ddot{\text{S}} + \text{Cu}\ddot{\text{S}}$	„	33
$\text{Cu}\ddot{\text{S}} + \text{Ca}\ddot{\text{S}} + \text{S} + \text{Mg}\ddot{\text{S}} + \text{Cu}\ddot{\text{S}}$	„	14
$\text{Ba}\ddot{\text{S}} + \text{Pb}\ddot{\text{S}} + \text{S} + \text{Ca}\ddot{\text{S}} + \text{Ba}\ddot{\text{S}}$	„	58
$\text{Ba}\ddot{\text{S}} + \text{K}\ddot{\text{S}} + \text{S} + \text{Ca}\ddot{\text{S}} + \text{Ba}\ddot{\text{S}}$	„	27
$\text{Ba}\ddot{\text{S}} + \text{Fe}\ddot{\text{S}} + \text{S} + \text{Pb}\ddot{\text{S}} + \text{Ba}\ddot{\text{S}}$	„	20
$\text{Ba}\ddot{\text{S}} + \text{Cu}\ddot{\text{S}} + \text{S} + \text{Fe}\ddot{\text{S}} + \text{Ba}\ddot{\text{S}}$	„	17

Der Strom ging überall in der Richtung des Pfeils. Es ordnen sich die schwefelsauren Salze und daher die Radicale wie folgt:



In der Reihe der salzsauren Salze waren einzuschalten Sn Cl, Pb Cl, Ag Cl, Hg Cl. Davon wurden also zunächst die drei letzten untersucht, unter sich und mit den anderen Salzen verglichen und Pb Cl fand seine Stelle zwischen Fe Cl und K Cl, Ag Cl dieselbe unter Ba Cl, Hg Cl dieselbe unter Ag Cl.

Um endlich auch dem Sn Cl seinen Platz anzuweisen, verfuhr ich so: Der eine Schenkel wurde, nachdem die Constante gefunden, fertig gemacht, d. h. eine andere mit dem Sn Cl zu vergleichende Substanz in Scheibchen von 2^{mm} Dicke aufgefüllt und, nachdem sie gepresst mit Hülfe eines in die Röhre passenden zweiten Stempels, bis an den Rand der Röhre vorgeschoben und Röhre und Stempel mittelst der hinter ihm befindlichen Mikrometerschraube so befestigt, daß beides vollkommen unbeweglich war. Darauf wurde zwischen Fließpapier ein Scheibchen Sn Cl gepresst und dies auf die andere Elektrode aus der Röhre, in der es gepresst worden, hinübergeschoben. Während die Röhre mit dem Sn Cl an die andere gelegt wurde, schob man ein feuchtes Papier zwischen beide, und zugleich wurde der indirecte Strom abgelesen, und zwar nur ein Hin- und Hergang der Nadel beobachtet, worauf sofort der Apparat auseinander genommen wurde. Da die Elektrodenscheiben trocken (d. h. nicht befeuchtet), das Fließpapier aber nur wenig befeuchtet war, damit sich die Flüssigkeit nicht augenblicklich in die Pulver ziehen konnte, so glaube ich hatte die chemische Zersetzung keinen oder einen höchst geringen Einfluß auf die elektromotorische Kraft beider Salze. Außer-

dem wurden alle Versuche zwei Mal und in umgekehrter Folge der Salze ausgeführt. Mit großer Wahrscheinlichkeit also glaube ich als richtig befunden zu haben, daß das Sn Cl zwischen Zn Cl und Mg Cl rangirt, und es resultirt somit als Reihe der salzsauren Salze:

Na Cl	Pb Cl	und daraus der Radicale:				Na	Pb
Zn Cl	Fe Cl	"	"	"	"	Zn	Fe
Sn Cl	Cu Cl	"	"	"	"	Sn	Cu
Mg Cl	Sr Cl	"	"	"	"	Mg	Sr
Ca Cl	Ba Cl	"	"	"	"	Ca	Ba
K Cl	Ag Cl	"	"	"	"	K	Ag
	Hg Cl	"	"	"	"		Hg.

Aus der Vergleichung obiger Reihen folgt also als Reihe

der Metalle und Metalloide:

Mn
Na
Zn
Sn
Mg
Ca
K
Pb
Fe
Cu
Sr
Ba
Ag
Hg, Co.

Den beiden letzten Salzen ihre bestimmte Stelle anzuweisen war mir unmöglich, da mir nicht zwei derselben Säure zu Gebote standen, so wie ich auch späteren Versuchen die Verhältnisse anderer schon bekannter Metalle wie Bi, Sb, Pl etc. zu obiger Reihe überlassen muß. Ich bescheide mich vorläufig mit den erhaltenen Resultaten und damit den Weg zu genaueren Bestimmungen eröffnet zu haben.

Einzelne wenige Versuche habe ich noch angestellt, indem ich zum Beispiel Ketten von schwefelsauren Salzen durch Salpetersäure, von salpetersauren Salzen durch Schwefelsäure schloß. In beiden Fällen fand ich die Stromesrichtung gleich der, die durch Schließung mit ihren resp. Säuren gefunden worden war.

VIII. *Bemerkungen über die Schlagweite der elektrischen Batterie; von P. L. Rijke.*

1. **D**iejenigen Leser dieser Annalen, welche Kenntniß nahmen von den Mittheilungen, welche wir, Hr. Riefs und ich, über das Gesetz zwischen der Schlagweite der elektrischen Batterie und der mittleren Dichte der darin angehäuften Elektricität veröffentlichten, werden wissen, daß wir über das, was ich mir erlauben werde die experimentelle Seite der Frage zu nennen, einig sind. Hr. Riefs giebt zu, daß meine Versuche ¹⁾, deren Genauigkeit er nicht bestreitet, nicht vorgestellt werden können durch eine Formel, welche ausdrückt, daß die Schlagweite einer elektrischen Batterie proportional sey der elektrischen Dichtigkeit derselben, und er räumt auch ein, daß die von mir erhaltenen

1) Diese Annal. Bd. 106, S. 411. — In dieser Abhandlung sind folgende Redactions- und Druckfehler zu verbessern:

S. 411 Z. 12 v. u. statt: <i>a</i>	lies: <i>d</i>
S. 420 Z. 17 v. o. statt: verschlechtert	lies: angegriffen
S. 430 Z. 1 v. u. statt: 0,01430	lies: 0,01439
S. 436 Z. 18 v. u. statt: nach	lies: auf
S. 436 Z. 17 v. u. statt: hinneige	lies: mangelhaft sey
S. 440 Z. 2 v. u. statt: entlud	lies: lud
S. 442 Z. 4 v. u. statt: 0,20539	lies: 0,20536
S. 443 Z. 2 v. o. statt: 89	lies: 87
S. 444 Z. 2 v. u. statt: 0,54549	lies: 0,55549
S. 448 Z. 5 v. u. statt: 0,61	lies: 0,62

Resultate genau durch die Gleichung der Hyperbel vorgestellt werden. Allein, wenn wir, weitergehend, die Frage aus einem gewissen Gesichtspunkt betrachten, dem Hr. Riefs groſse Wichtigkeit beizulegen scheint, so muſs ich gestehen, daſs es mir sehr schwer hält, seine Anschauungsweise zu theilen. In der That, wenn man Hrn. Riefs fragt, was man beobachten würde, wenn man den Einfluss der Elektroden auf einander unterdrücken könnte, so antwortet der berühmte Physiker, daſs in diesem Falle die Schlagweite ganz sicher proportional der elektrischen Dichtigkeit gefunden werden würde. Nun bekenne ich, daſs diese Ansicht nicht die meine ist, und daſs ich nicht glaube, daſs dieſs das Resultat wäre, zu welchem man gelangen würde. Ich glaube bewiesen zu haben ¹⁾ daſs, wenn das Gesetz der Proportionalität theoretisch richtig wäre, die Abänderung, welche es vermöge des gegenseitigen Einflusses der Elektroden erleiden würde, die Folge hätte, die Schlagweite weniger rasch als die elektrische Dichtigkeit wachsen zu machen, während genau das Gegentheil stattfindet.

2. Meine Bemerkungen sind seitens des Hrn. Riefs der Gegenstand einer *Entgegnung* gewesen, die in eins der letzten Hefte dieser Annalen eingerückt ist ²⁾. Obwohl Hr. Riefs anzuerkennen scheint, daſs der Einfluss der Elektroden im Allgemeinen den von mir ihm beigelegten Effect haben muſs, so macht er mir doch bemerklich, daſs dieser Einfluss *Glimm-* und *Büschel-Entladungen* veranlassen könne, welche der *Funken-Entladung* vorhergehen, und daſs in Folge deſs die Zahl der Entladungen der Maassflasche nicht mehr die elektrische Dichtigkeit der Batterie anzeigen würde, weil ein Theil der darin angehäuſt gewesenen Elektrizität durch die *Glimm-* und *Büschel-Entladung* verschwunden wäre. Hr. Riefs zeigt ferner, daſs, angenommen, es gehe jeder Funken-Entladung eine andere Entladung voraus, die Schlagweiten rascher als die elektrischen Dichtigkeiten wachsen müſsen. Gewiſs bin ich weit entfernt

1) Diese Ann. Bd. 107, S. 479.

2) Ebendasselbst Bd. 108, S. 171.

zu läugnen, daß man beim Experimentiren über die Schlagweite der elektrischen Batterie jemals diese Glimm- und Büschel-Entladungen antreffe. Es bleibt bloß zu wissen, ob sie in den von mir veröffentlichten Versuchs-Reihen zugegen waren und mich zur Aufstellung des hyperbolischen Gesetzes verleiteten.

3. Wenn es sich um *zufällige* Glimm-Entladungen handelt, so kann ich versichern, daß keine die in Rede stehenden Reihen beeinträchtigt hat. In der That erhält man, sobald eine dieser Entladungen stattgefunden hat, für die elektrische Dichtigkeit, welche der nachfolgenden Funken-Entladung entspricht, eine so starke Zahl, daß es sogleich in die Augen springt. Jede Regelmäßigkeit verschwindet aus der Reihe, welche, da sie nicht mehr gebraucht werden kann, nothwendig verworfen werden muß. Ich könnte von diesen Unregelmäßigkeiten nachsagen, denn es würde mir sehr schwer seyn, die Zahl der Reihen anzugeben, die ich aus diesem Grunde nicht benutzen konnte. Ich muß indess hinzufügen, daß diese Störungen mir an einem Tage mehr als an einem anderen begegneten, und daß sie fast immer aus dem wenig befriedigenden Zustand der Elektroden entsprangen.

4. Anlangend die Glimm- und Büschel-Entladungen, die regelmäsig jeder Funken-Entladung vorangegangen wären, so muß ich bekennen, daß es mir unmöglich ist, an sie zu glauben. Ich müßte annehmen, daß ich sie in *allen* Fällen erhielte, wie auch die Form der angewandten Elektroden und der Abstand derselben war. In einer meiner Reihen, der fünften, waren die Schlagweiten (in Millimetern):

0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0

Die letzte war also zwanzig Mal größer als die erste. Nun wurde jeder Versuch vier Mal wiederholt, was im Ganzen 44 Entladungen ausmacht. Man müßte also annehmen, daß 44 Mal hintereinander jeder Funken-Entladung eine Glimm-Entladung vorangegangen wäre, und zwar, als die Schlagweiten von 1 bis 20 verändert wurden. Wahr-

lich ich glaube nicht, dafs viele Physiker geneigt seyn werden, die Möglichkeit einer so erstaunlichen Regelmäßigkeit anzuerkennen, besonders wenn sie einen Augenblick daran denken, wie viele Vorsichtsmafsregeln man ergreifen mufs, wenn man diese Entladungen absichtlich hervorbringen will.

5. Sollten die Physiker, welche an dem Proportionalitätsgesetz festhalten, durch vorstehende Betrachtungen noch nicht überzeugt worden seyn, so könnte ich sagen: Nun gut, es sey! Wir wollen für einen Moment annehmen, dafs jeder Funken-Entladung eine Glimm-Entladung vorangehe, und die Zahl der Entladungen der Maafsflasche nicht mehr das Maafs der in einer elektrischen Batterie angehäuften Elektricitätsmenge liefere, was, beiläufig gesagt, den Credit, dessen die Maafsflasche bisher genofs, nicht eben erhöhen würde: folgt daraus, dafs meine Formel (III) unrichtig sey? Keineswegs, denn man mufs nicht aus dem Auge verlieren, dafs diese Formel auf Resultaten beruht, welche nach *zwei* ganz verschiedenen Methoden erhalten worden sind. Wenn die erste Methode mangelhaft ist, sie nicht, wie man behauptet, die elektrische Dichtigkeit für den Moment der Entladung durch Funken angiebt, so bleibt immer die zweite, welcher man nicht denselben Vorwurf machen kann, weil das Sinus-Elektrometer die disponible Ladung für jeden Augenblick angiebt und folglich auch für den Moment, wo die Entladung durch Funken stattfindet. Da nun die Resultate, welche nach der zweiten, in vieler Beziehung vorzüglicheren Methode erhalten wurden, eben so gut zu der Gleichung der Hyperbel führen wie die mittelst der Maafsflasche erlangten, so mufs man annehmen, dafs die bezeichnete Fehlerquelle in Wirklichkeit nicht existirt, und dafs folglich noch zu erklären bleibt, wie der gegenseitige Einflufs der Elektroden an dem Proportionalitätsgesetz Modificationen herbeiführen könnte, welche es mit den von mir erlangten Resultaten verträglich machten.

In meiner ersten Abhandlung sagte ich, dafs ich durchaus nicht behauptete, das physische Gesetz der Erscheinung aufgefunden zu haben, und dafs ich die Gleichung der Hy-

man könne es so einrichten, daß bei gewissen Abständen jede Entladung unmöglich wird, und dies scheint ihm ein völliger Widerspruch mit meiner Formel zu seyn. Erlaube mir Hr. Riefs dagegen zu bemerken, daß dieser Widerspruch nur scheinbar ist. In der That, um was handelt es sich hier? Einzig darum, das Gesetz zu finden, welches die elektrische Dichtigkeit verknüpft mit der Entladung, nicht durch Glimmen oder Büschel, sondern durch *Funken*. Sobald aber die Funken-Entladung unterdrückt ist, findet sie sich immer, selbst nach Hrn. Riefs ¹⁾, ersetzt durch leuchtende Entladungen einer anderen Natur.

7. Die vorstehenden Betrachtungen werden, hoffe ich, die Anschauungsweise der noch am Proportionalitätsgesetz festhaltenden Physiker modificiren. Mögen sie mir jedenfalls die Bemerkung erlauben, daß wenn die Erfahrung lehrt, das in Rede stehende Gesetz müsse abgeändert werden, dasselbe nur das Schicksal anderer Gesetze theilen würde, die ganz ebenso wichtig waren und sich auch durch Einfachheit empfehlen. Ich brauche nur das Mariotte'sche Gesetz anzuführen. Als es die ersten Angriffe erfuhr und man bewiesen hatte, daß bei einigen Gasen die Volume rascher abnehmen als es dies Gesetz anzeigt, glaubte man freilich eine Zeit lang es dennoch als theoretisches Gesetz aufrecht halten zu können. Nach Einigen genügte die Annahme, daß es nur auf Körper von vollkommenem Gaszustande anwendbar sey, verbunden mit der, daß Gase, welche davon abwichen, unvollkommen elastisch seyen; nach Anderen würden sich die beobachteten Abweichungen leicht erklären lassen durch Condensationen, welche diese Gase an den Wänden der sie einschließenden Gefäße erlitten. Allein von dem Moment an, da Hr. Regnault beobachtete, daß das Wasserstoffgas sich im *umgekehrten* Sinn wie die übrigen Gase von dem Mariotte'schen Gesetz entfernt, war diese einzige, mit beiden der eben angeführten Hypothesen im Widerspruch stehende Thatsache hinreichend in den Augen aller Physiker um zu beweisen, daß das Mariotte'sche Gesetz selbst

1) Ebendasselbst Bd. 99, S. 3.

als ein theoretisches nicht mehr aufrecht erhalten werden könne.

8. Bevor ich diese Notiz beende, muß ich eine Ungenauigkeit berichtigen, die ich in meiner Abhandlung über die Schlagweite der elektrischen Batterie beging. Ich sagte, die Physiker nähmen allgemein an, daß die Schlagweite einer elektrischen Batterie proportional sey der auf ihr angehäuften Elektrizität. Nun hat man mir bemerkt, daß ich hätte eine Ausnahme machen müssen zu Gunsten des Hrn. Knochenhauer, der in seinen »*Beiträgen zur Elektrizitätslehre*, Berlin, 1854« aus seinen Versuchen den Schluss zog, daß die Schlagweite erst von $\frac{1}{2}$ Linie ab proportional der Entladung der Batterie wachse. Ich brauche wohl nicht zu sagen, daß wenn ich Hrn. Knochenhauer's Werk eher gekannt hätte, ich nicht ermangelt haben würde, ihm gerecht zu seyn.

Leyden, den 20. Oct. 1859.

IX. Ueber die katalytische Zersetzung des Wasserstoffsuperoxydes durch Platin; von C. F. Schönbein.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. Verhandl. der Naturf. Gesellschaft zu Basel 1859.)

Wenn meiner Annahme nach das Wasserstoffsuperoxyd durch eine Reihe sauerstoffhaltiger Verbindungen, welche ich Ozonide nenne, namentlich durch die Oxyde der edeln Metalle in Wasser und gewöhnliches Sauerstoffgas zerlegt wird und diese Zersetzung auf einer Ausgleichung des im HO_2 enthaltenen \oplus mit dem \ominus der Ozonide zu O zunächst beruht, so muß die schon von Thénard gemachte Beobachtung, gemäß welcher auch unter dem Berührungseinflusse der edeln Metalle selbst, namentlich des Platins, HO_2

in HO und O zerfällt, sehr auffallend, ja Manchem vielleicht im Widerspruch mit meiner Ansicht über die nächste Ursache der gegenseitigen Katalyse der Ozonide und Antozonide erscheinen und jedenfalls zu der Frage Anlaß geben, auf welche Weise der positiv-active Sauerstoff von HO_2 in den O-Zustand übergeführt werde. So lange wir freilich noch nicht wissen, worauf die verschiedenen Zustände des Sauerstoffes beruhen und wie gewisse gewichtige und gewichtslose Agentien Zustandsveränderungen in diesem Elemente bewerkstelligen, dürfte es schwierig, wo nicht unmöglich seyn, die gestellte Frage genügend zu beantworten; es giebt indessen einige Thatsachen, von welchen ich glaube, daß sie mit dem von den edlen Metallen auf das Wasserstoffsuperoxyd ausgeübten katalytischen Einfluß in engem Zusammenhange stehen und deshalb auch geeignet seyen, als Anhaltspunkte für die genauere Erforschung dieser noch so räthselhaften Erscheinung zu dienen.

Da unter den edelen Metallen das Platin durch seine eigenthümlichen Beziehungen zum Sauerstoff sicherlich das merkwürdigste und interessanteste ist, so will ich dasselbe auch hier mit Bezug auf sein Verhalten gegen das Wasserstoffsuperoxyd zum alleinigen Gegenstande meiner Erörterungen wählen und dabei bemerken, daß alles, was von diesem Metalle gesagt wird, auch auf die übrigen edeln Metalle bezogen werden kann. Nach diesen Vorbemerkungen gehe ich zu der Angabe der vorhin angedeuteten Thatsachen über.

1) Bekanntlich ist das Guajak ein specifisches und äußerst empfindliches Reagens sowohl auf gebundenen als auf freien ozonisirten Sauerstoff, mit welchem es eine intensiv blau gefärbte Verbindung eingeht, während der thätige Sauerstoff des Wasserstoffsuperoxydes und der Antozonide überhaupt gegen die Guajaktinctur indifferent sich verhält. Meine früheren Versuche haben nun gezeigt, daß die HO_2 -haltige Harzlösung, mit Platinmohr in Berührung gesetzt, sofort auf das Tiefste gebläut wird, gerade so, als ob zu der reinen Tinctur

Bleisuperoxyd, Uebermangansäure oder andere Ozonide gefügt worden wären.

2) In einer früheren Mittheilung habe ich erwähnt, daß Wasserstoffsuperoxyd leicht vom Aether aufgenommen werde und beide Substanzen neben einander bestehen können, ohne daß Oxydationswirkungen: Säurebildung u. s. w. eintreten, freier oder gebundener ozonisirter Sauerstoff aber in Berührung mit Aether verschwinde und diesen sauer mache.

Wird an HO_2 reichhaltiger Aether, ein solcher also, welcher beim Schütteln mit einiger verdünnten Chromsäurelösung auf das Tiefste sich bläut und auch das Lakmuspapier nicht röthet, mit Platinmohr nur sehr kurze Zeit geschüttelt, so hat er die Fähigkeit, mit CrO_3 sich zu bläuen, des Gänzlichen verloren und reagirt bald deutlich sauer, wobei noch zu bemerken ist, daß unter diesen Umständen keine Sauerstoffgasentwicklung stattfindet.

3) Wiederholt schon habe ich bemerkt, daß das Wasserstoffsuperoxyd die Indigotinctur nur allmählich entbläue, während wohl bekannt ist, daß durch freien und gebundenen ozonisirten Sauerstoff dieselbe augenblicklich zerstört wird. Schüttelt man ein Gemisch von Indigotinctur und Wasserstoffsuperoxyd mit Platinmohr, so oxydirt sich rasch das Indigoblau zu Isatin, d. h. wird die Flüssigkeit entbläut.

Diese Thatfachen zeigen, daß das unter den Berührungseinfluß des Platins gestellte \oplus des Wasserstoffsuperoxydes die gleichen Oxydationswirkungen hervorbringt, welche der freie oder gebundene ozonisirte Sauerstoff verursacht, und die als charakteristische des Letztern betrachtet werden können. Sollte nun wohl aus dieser Gleichheit der Wirkungen nicht geschlossen werden dürfen, daß das Platin das Vermögen besitze, dem positiv-activen Sauerstoff des Wasserstoffsuperoxydes in den negativ-activen Zustand überzuführen, worauf auch immer die Fähigkeit des Metalles und die Umwandlung von \oplus in \ominus beruhen mag?

Gehen wir nun von der Annahme aus: da, wo das Platin in Berührung mit Wasserstoffsuperoxyd tritt, finde wirklich eine solche Umkehr des Θ dieses berührten HO_2 statt, so begreift sich leicht, daß das entstandene Θ mit dem Θ des unmittelbar benachbarten und außer Berührung mit dem Metalle stehenden Wasserstoffsuperoxydes nicht zusammen bestehen könnte. Dieses Wasserstoffsuperoxyd (durch seinen Θ -Gehalt) würde gegenüber dem am Platin auftretenden und aus Θ entstandenen negativ-activen Sauerstoff gewissermaßen die Rolle eines oxydirbaren Körpers spielen oder das Guajak, den Indigo oder Aether vertreten, es gliche sich mit anderen Worten Θ und Θ zu O aus und zerfielen die beiden dem Metalle zunächst liegenden Schichten von HO_2 in Wasser und gewöhnlichen Sauerstoff. Nach stattgefundener Katalyse dieser beiden Portionen von HO_2 käme aus der unmittelbaren Nachbarschaft der Flüssigkeit mit dem Platin ein neuer Antheil von Wasserstoffsuperoxyd in Berührung, dessen Θ abermals in Θ übergeführt würde, welches dann wieder mit dem Θ der angrenzenden Theilchen HO_2 sich zu O ausglich u. s. w., und leicht sieht man ein, daß diese Vorgänge der Umkehr von Θ eines Theiles des vorhandenen Wasserstoffsuperoxydes in Θ und der Ausgleichung dieses Θ mit dem Θ eines andern aequivalenten Theiles von HO_2 zu O so lange fort dauern würde, als noch Wasserstoffsuperoxyd vorhanden wäre; so daß also eine gegebene Menge von Platin jede mögliche Menge von HO_2 in Wasser und gewöhnlichen Sauerstoff zu zerlegen vermöchte, wenn nach einander je zwei aequivalente Portionen von Wasserstoffsuperoxyd, die Eine mit dem Metalle und diese mit der andern Portion in unmittelbare Berührung gesetzt würde.

Wäre die eben entwickelte Ansicht gegründet, so würde durch das Platin die Katalyse des Wasserstoffsuperoxydes nur mittelbar bewerkstelligt, insofern nämlich dem Metalle das Vermögen zukäme, das Θ des mit ihm in Berührung tretenden HO_2 in Θ umzukehren; die unmittelbare Ursache des Zerfallens dieser Verbindung in HO und O selbst aber

läge in dem Ausgleichungsacte der entgegengesetzt thätigen Sauerstoffarten, gerade so, wie dies beim Zusammenbringen eines Ozonides mit einem Antozonid geschieht. Von diesem Standpunkte aus die durch Platin verursachte Katalyse von HO_2 betrachtet, würde dieselbe in keinem Widerspruche mit der Ansicht stehen, daß diese Erscheinung auf einer Gegensätzlichkeit thätiger Sauerstoffzustände und deren Ausgleichung beruhe; es wäre die durch Platin verursachte Katalyse nur ein einzelner Fall einer allgemeinen Thatsache.

X. *Einige Notizen über den HO_2 -haltigen Aether; von C. F. Schönbein.*

In der Abhandlung über die langsame Verbrennung des Aethers ¹⁾ ist erwähnt, daß der Aether Wasserstoffsuperoxyd in merklicher Menge aufnehme und letzteres als solches mit AeO zusammen bestehen könne. Ich habe seither mit diesem Gemisch einige Versuche angestellt, deren Ergebnisse mir der Mittheilung werth zu seyn scheinen.

Um Aether mit möglichst viel HO_2 zu beladen, bringe ich ein Gramm BaO_2 mit so viel etwas verdünnter Salzsäure zusammen, daß die Flüssigkeit nicht mehr sauer reagirt, und schüttle das Gemeng von HO_2 und BaCl mit etwa 40 Grammen reinen Aethers zusammen. Ein so behandelter Aether, nachdem er sich von der Chlorbariumlösung abgeschieden hat, wird sich beim Schütteln mit einiger gelösten Chromsäure bis zur Undurchsichtigkeit bläuen und läßt sich überdestilliren, ohne daß er die Fähigkeit verlöre, durch CrO_3 sich bläuen zu lassen, die Kalipermanganatlösung unter Sauerstoffgasentwicklung zu entfärben, die Guajaktinctur unter Mithilfe von Blutkörperchenlösung zu bläuen,

1) S. Ann. Bd. 108, S. 479.

kurz alle die dem HO_2 zukommenden Reactionen hervorzubringen. Das Wasserstoffsperoxyd für sich allein ist so leicht zersetzbar, daß es sich nicht destilliren läßt; vergesellschaftet mit einer so oxydirbaren Substanz wie der Aether erlangt es diese Fähigkeit, wie es überhaupt in dieser Verbindung vor spontaner Zersetzung geschützt ist.

Schüttelt man besagten Aether mit Wasser, einen Raumtheil des erstern mit etwa vier Raumtheilen des letztern, so wird vom Wasser außer Aether auch alles HO_2 aufgenommen, so daß der obenauf schwimmende Aether keine Spur von Wasserstoffsperoxyd mehr enthält, wie schon daraus erhellt, daß derselbe nicht im Mindesten mehr mit Chromsäurelösung sich bläut, während die untere Flüssigkeitsschicht alle Reactionen von HO_2 hervorbringt. Kalihaltiges nimmt noch rascher als das reine Wasser HO_2 aus dem Aether weg, wie daraus hervorgeht, daß wenige Tropfen Kalilösung mit einigen Grammen HO_2 -haltigen Aethers nur kurze Zeit geschüttelt, keine Spur von Wasserstoffsperoxyd enthält. Letzteres befindet sich in der Kalilösung; denn schüttelt man mit ihr und einigem frischen Aether einige Tropfen verdünnter Schwefelsäure und Chromsäure zusammen, so färbt sich AeO tief blau.

XI. Zur quantitativen Bestimmung der Phosphorsäure; von A. Lipowitz in Posen.

Die Phosphorsäure sowohl auf maafs- als gewichts-analytischem Wege quantitativ nachzuweisen, ist, wie dies auch Mohr in seinem Lehrbuch der Titrimethode hervorgehoben hat, mit Unsicherheiten und Ungenauigkeiten verbunden. Wie wichtig jedoch eine sichere und leicht ausführbare Methode zur quantitativen Bestimmung der Phosphorsäure ist, wird besonders Denen fühlbar, welche öfter Ge-

legenheit haben, sie in organischen Verbindungen zu bestimmen.

Seit Jahren mit Untersuchungen von Futterstoffen, Dungstoffen und ähnlichen, Phosphorsäure enthaltenden Substanzen aller Art beschäftigt, habe ich jede Methode, vorzugsweise aber diejenigen geprüft, welche leicht in kürzester Zeit die Bedingung einer quantitativen Analyse gestatten.

Die maassanalytische Methode der Phosphorsäurebestimmung nach Liebig ist in den Händen eines mit der Titrimethode vertrauten Chemikers wohl die beste, wenn die Phosphorsäure nicht mit Eisen oder Thonerde in Verbindung vorkommt, zumal die gleichzeitige Gegenwart organischer Stoffe, z. B. bei Harnuntersuchungen, nicht störend ist. Es hat diese Methode jedoch auch ihre von Mohr bezeichneten Uebelstände und bietet wegen des langsamen Verlaufes nicht die Vortheile, welche sonst maassanalytische Methoden gewähren.

Ich richtete daher seit Jahr und Tag mein Augenmerk auf den gelben Niederschlag, welcher durch molybdänsaures Ammoniak in mit Salzsäure und Salpetersäure oder Schwefelsäure angesäuerten und Phosphorsäure enthaltenden Flüssigkeiten entsteht; wodurch bekanntlich zugleich die empfindlichste Reaction auf Phosphorsäure, welche wir Struve und Svanberg zu verdanken haben, hervorgebracht wird. Zu den Versuchen wendete ich genau auf ihren Gehalt an Phosphorsäure bestimmte Flüssigkeiten an, konnte jedoch selten aus gleichen Mengen durch Zusatz von molybdänsaurem Ammoniak Niederschläge erhalten, welche getrocknet ein übereinstimmendes Gewicht zeigten.

Ein Aufsatz des Dr. J. Sopp in den »Landwirthschaftlichen Mittheilungen von Dr. Hartstein Heft 1. 1858« worin eine volumetrische Methode zur Bestimmung der Phosphorsäure durch Molybdänsäure angegeben wird, bestimmte mich, dessen Verfahren zu prüfen und meine früheren Versuche wieder aufzunehmen. In Folge dieser Prüfung fand ich den Beobachtungsfehler, welcher sich bei Beurtheilung und Un-

tersuchung des gelben Niederschlages überall eingeschlichen hatte.

Der Niederschlag, welcher durch Zusatz von molybdänsaurem Ammoniak aus einer mit Mineralsäuren versetzten Flüssigkeit, die Phosphorsäure zugleich enthält, gewonnen wird, wurde von den Entdeckern Struve und Svanberg für eine besondere Modification der Molybdänsäure gehalten. Sonnenschein lieferte den Beweis, daß diese Verbindung phosphormolybdänsaures Ammoniak sey und gab den Gehalt als Mittel mehrerer Analysen zu 3 Proc. PO_5 , 86 Proc. MoO_3 , 11 Proc. AmO und HO an; während Seligsohn darin 3,14 Proc. PO_5 , 90,7 Proc. MoO_3 , 3,57 AmO und 2,19 Proc. HO fand. Dieses verschiedene Resultat hatte Sopp veranlaßt, die Untersuchung der gelben Verbindung aufzunehmen und darin die Verhältnisse der Phosphorsäure und der Molybdänsäure nochmals zu bestimmen, Er nimmt in Folge dessen die procentische Zusammensetzung aus 3,20 Proc. PO_5 , 86 Proc. MoO_3 , 5,91 AmO und 4,91 HO bestehend an und berechnet darnach die Formel. Sopp, welcher dieses Verhältniß nicht für veränderlich hält, glaubt somit unter den von ihm angegebenen Vorsichtsmafsregeln, den Niederschlag zur quantitativen Bestimmung der Phosphorsäure benutzen zu dürfen. Er bewirkte dies dadurch, daß er den Niederschlag in calibrirten Röhren misst und 3 Proc. gefundene Phosphorsäure berechnet; oder er sucht die Molybdänsäure, welche bei Anwendung einer gemessenen und vorher titrirten molybdänsauren Ammoniaklösung in Auflösung verbleibt, durch Restbestimmung festzustellen, indem er sie durch Zink reducirt mit Chamäleonlösung titirt und dann die Molybdänsäure im Niederschlage berechnet, welche darin so gut, wie die Phosphorsäure constant seyn soll.

Wie ich vorher bereits anführte, konnte ich bei meinen sehr zahlreichen Versuchen, in den Niederschlägen, zu deren Herstellung gleiche Mengen Phosphorsäure verwendet waren, getrocknet dennoch selten ein einigermaßen übereinstim-

mendes Gewicht erhalten. Den Grund fand ich darin, daß die molybdänsauren Alkalisalze, hier das Ammoniaksalz, durch weiteren Zusatz von Mineralsäuren auch bei Verdünnungen zerlegt werden, und somit ein Theil reiner Molybdänsäure gleichzeitig mit dem Niederschlage ausgeschieden wird. Dadurch müssen natürlich die Verhältnisse von Phosphorsäure, Molybdänsäure, Ammoniak und Wasser im Niederschlage stets andere seyn. Ein zweiter Grund ist der: daß das angesäuerte molybdänsaure Ammoniaksalz beim Erhitzen oder Kochen, was zum vollständigen Abscheiden des gelben Niederschlages nöthig ist, wenn nicht eine Verschwendung von molybdänsaurem Ammoniak stattfinden soll, ebenfalls noch Molybdänsäure abscheidet.

Mit Bezug hierauf ist es erklärlich, daß der gelbe Niederschlag, von phosphormolybdänsaurem Ammoniak nur eine constante Zusammensetzung haben kann, wenn das dazu verwendete angesäuerte und gelöste molybdänsaure Ammoniak, weder bei der Verdünnung noch auf Zusatz weiterer Säure oder beim Erhitzen Molybdänsäure abscheidet.

Ist man im Besitz einer Lösung, welche diesen Bedingungen entspricht und arbeitet man mit gelösten Substanzen von bekanntem Phosphorsäuregehalt, so werden gleiche Mengen Phosphorsäure auch gleichen Gewichtsniederschlägen entsprechen.

Bereitet man nach Sonnenschein eine Auflösung aus 1 Theil Molybdänsäure und 8 Th. Ammoniakflüssigkeit und setzt 20 Theile Salpetersäure zu, so scheiden sich bei dieser Uebersättigung zwei Drittel bis drei Viertel der Molybdänsäure aus, und es bleibt eine mit Salpetersäure überladene verdünnte Lösung von Molybdänsäure und Ammoniak übrig. Wird diese zum Sieden erhitzt, so erfolgt eine noch weitere Ausscheidung der Molybdänsäure und in der Auflösung bleibt kaum der vierte Theil der verwendeten Molybdänsäure übrig. Mit dieser Auflösung erhält man dann aber aus jeder Flüssigkeit, welche frei von organischen Verbindungen ist und die Phosphorsäure oder deren Verbindungen

enthält, einen gleichförmigen gelben Niederschlag von constantem phosphorsaurem Gehalt.

Die nach Vorstehendem bereitete Auflösung ist, durch das Uebermaafs von Salpetersäure, als eine Verschwendung dieser anzusehen; sie wird außerdem durch ihre starke Verdünnung unbequem und die wiederholte Lösung der ausgeschiedenen Molybdänsäure ist überdies langweilig. Ich versuchte daher eine concentrirtere Flüssigkeit herzustellen, welche eine vollständige Fällung der Phosphorsäure ohne Nebenfällung der Molybdänsäure gestattet.

Die Bereitung dieser Probestlüssigkeit ist folgende. Man nehme 2 Theile chemisch reiner Molybdänsäure, 1 Theil Weinsteinsäure, bringe diese beiden Stoffe in einem dazu passenden Glase mit 15 Theilen Wasser zusammen, und befördere durch öfteres Umschütteln oder durch sehr schwaches Erwärmen die Lösung. Darauf setze man 10 Theile Ammoniakflüssigkeit von 0,97 spec. Gewicht hinzu und zuletzt 15 Theile Salpetersäure. Hat nach der Sättigung mit Ammoniakflüssigkeit eine Abkühlung stattgefunden, so scheidet der Zusatz von Salpetersäure keine Molybdänsäure aus. Zuletzt erhitzt man das Ganze in einer Porcellanschale zum Sieden, wobei sich etwa der 15. Theil der Molybdänsäure abscheidet, und filtrirt nach dem Erkalten. Die abgeschiedene Molybdänsäure kann, ausgewaschen, bei Bereitung einer nächsten Probestlüssigkeit verwendet werden.

Diese Probestlüssigkeit bleibt auf Zusatz von Säuren und beim Kochen klar, und wird auch nicht von Eisen, Kupfer und den gewöhnlichen Erdsalzen gefällt, wenn diese nicht als phosphorsaure Salze darin vorhanden sind.

Beim Gebrauch thut man soviel von dieser Probestlüssigkeit, als man für nöthig hält (gewöhnlich genügen 5 bis 6 CC. um aus einer Auflösung 0,05 Grm. Phosphorsäure zu fällen) in eine Porcellanschale, erhitzt sie bis zum Sieden und läßt die abgewogene oder pipettirte auf Phosphorsäure zu untersuchende angesäuerte Flüssigkeit zulaufen. Es erfolgt sofort die Ausscheidung des schön und gleich-

förmig canariengelb gefärbten Niederschlag, welche man noch durch Umrühren mit einem Glasstabe unterstützen kann. Um sich zu überzeugen, daß die Fällung beendet sey, braucht man nur eine Kleinigkeit der über dem Niederschlag stehenden klaren Flüssigkeit abzufiltriren und im Probirglase zu versuchen, ob noch weiterer Zusatz der Probeflüssigkeit nöthig sey. Den Niederschlag bringt man auf ein vorher gewogenes Filtrum. Das Aussüßen ist mit Wasser vorzunehmen, dem man vorher ein Funzigstel Salpetersäure zugesetzt hat, da reines Wasser häufig eine Zersetzung des Niederschlages herbeiführt und das Ablaufende dann grünlich gelb und trübe wird. Die Filtra werden nach dem Pressen zwischen Fließpapier bei höchstens 20 bis 30° Wärme oder am besten unter einer Glocke über Schwefelsäure getrocknet, und schnell gewogen.

Will man sich, wie es wohl für einzelne seltene Fälle genügen kann, mit der empirischen Methode den Niederschlag zu messen begnügen, so verweise ich auf den im Eingange von Sopp angegebenen Aufsatz in Dr. Hartstein's Landwirthschaftlichen Mittheilungen. Ich bemerke dazu nur, daß diese Niederschläge weil sie constant zusammengesetzt sind, auch stets denselben Raum einnehmen, und daß man daher den Niederschlag, wenn man ihn in ein 8 bis 10^{mm} weites unten zugeschmolzenes und calibrirtes Glasrohr sammt der Flüssigkeit hineinspült und absetzen läßt, messen kann.

Alle Niederschläge, welche mit der angegebenen Probeflüssigkeit aus einer mit Salpeter- oder Salzsäure bereiteten sauren Lösung der auf Phosphorsäure zu prüfenden Substanz erhalten werden, enthalten nach meiner Ermittlung im Durchschnitt 3,607 Proc. Phosphorsäure. Ich lasse zum Beweis die controlirenden Versuche folgen, welche mit genau auf ihren Phosphorsäure-Gehalt geprüften Flüssigkeiten von mir angestellt worden sind.

Die Phosphorsäure-haltigen Flüssigkeiten, welche zu den Versuchen dienten, enthalten in jedem Cubikcentimeter genau 0,005 Gramm Phosphorsäure. Es waren davon vorrätbig:

- a) 12,562 Grm. neutrales phosphorsaures Natron ($\text{HO}, \text{NaO}, \text{PO}_5 + 24 \text{ aq.}$) zu 500 CC. in destillirtem Wasser gelöst.
- b) 8,627 Grm. über Schwefelsäure getrocknete phosphorsaure Ammoniakmagnesia ($2\text{MgO}, \text{Am PO}_5 + 12 \text{ aq.}$) in Salpetersäure und Wasser zu 500 CC. gelöst.
- c) 8,627 Grm. ebenso getrocknete, dann aber geglühte, phosphorsaure Ammoniakmagnesia, gleichfalls zu 500 CC. mit Salpetersäure und Wasser aufgenommen.

Diese Phosphorsäure-haltigen Flüssigkeiten nach der Liebig'schen Methode unter Zusatz von Essigsäure und essigsaurem Natron mit Eisenchlorid (1 CC. entsprechend 0,01 Grm. PO_5) titirt, entsprechen bei sorgfältiger und abwartender Arbeit ihrem Gehalt von 0,005 Grm. PO_5 für jeden CC. Auffallend war nur, daß die frisch bereitete Lösung der geglühten phosphorsauren Ammoniakmagnesia weniger vom Eisentiter bedurfte, als nach längerer Zeit des Stehens, wie Versuch 6 angiebt; während der Niederschlag von phosphormolybdänsaurem Ammoniak der dazu verwendeten Menge von Phosphorsäure entsprach.

Versuch 1. 5 CC. der Phosphorsäurelösung b, worin 0,025 Grm. PO_5 enthalten, erforderten 29 CC. der Molybdänsäure-haltigen Probeflüssigkeit und lieferten einen Niederschlag, welcher 0,695 Grm. wog.

Versuch 2. 10 CC. der Phosphorsäurelösung b, gaben mit der Probeflüssigkeit versetzt, einen Niederschlag von 1,392 Grm.

Versuch 3. 5 CC. der Phosphorsäurelösung c, mit 30 CC. Probeflüssigkeit behandelt, gaben einen Niederschlag von 0,687 Grm.

Versuch 4. 5 CC. der Phosphorsäurelösung a, mit Probeflüssigkeit versetzt, gaben einen Niederschlag von 0,702 Grm.

Versuch 5. 10 CC. Phosphorsäurelösung a, mit Probeflüssigkeit versetzt, gaben einen 1,39 Grm. wiegenden Niederschlag.

Versuch 6. 5 CC. der Phosphorsäurelösung c, mit Probe-

flüssigkeit behandelt, lieferten einen Niederschlag von 0,697 Grm. in Gewicht. Von dieser Phosphorsäurelösung frisch bereitet, wurden zu 10 CC. nur 4,2 und zu 20 CC. 9,1 CC. Eisenchloridtitel verbraucht, von denen jedes CC. 10 Millim. Phosphorsäure entsprach.

Versuch 7. 5 CC. Phosphorsäurelösung *a*, mit einer in Chlorwasserstoffsäure bereiteten Auflösung von Gyps versetzt und dazu Probeflüssigkeit, lieferten einen Niederschlag von 0,69 Grm. in Gewicht.

Versuch 8. 5 CC. Phosphorsäurelösung *a*, mit Auflösungen von schwefelsaurem Kupferoxyd und Eisenchlorid versetzt, gaben einen Niederschlag von 0,688 Grm.

Versuch 9. 10 CC. Phosphorsäurelösung *b*, in der Art bereitet, dafs, statt Salpetersäure, Chlorwasserstoffsäure zur Auflösung der phosphorsauren Ammoniakmagnesia genommen war, gaben mit genügender Menge Probeflüssigkeit einen Niederschlag, welcher 1,39 Grm. wog.

Versuch 10. 5 CC. Phosphorsäurelösung *a*, 5 CC. Phosphorsäurelösung *b* und 5 CC. Phosphorsäurelösung *c* in Summa 15 CC. gemischter Phosphorsäurelösung mit Probeflüssigkeit versetzt, lieferten einen Niederschlag von 2,079 Grm.

Aus diesen Versuchen resultirt die procentische Mittelzahl von 3,607 für den Phosphorsäuregehalt des Niederschlages. Man wird daher keinen grofsen Fehler begehen, wenn man bei den Analysen den Gehalt an Phosphorsäure im Niederschlage zu 3,6 Proc. berechnet. Annähernd ist dies auch diejenige Zahl, welche Struve und Svanberg (3,631 Proc.) in dem gelben Niederschlag nachgewiesen haben.

Hat man Probeflüssigkeit, welche sich ohne zu zersetzen leicht aufbewahren läfst, in Vorrath, und befindet sich die auf Phosphorsäure zu untersuchende Substanz bereits in Auflösung, so wird man stets im Stande seyn, in einer Viertelstunde den Niederschlag auf einem Filtrum ausgestüßt und zum Trocknen bereit zu haben.

Kommt die Phosphorsäure in organischen Verbindungen

wie Knochenmehl, Guano u. d. gl. zur Bestimmung vor, so ist es nur nöthig, von diesen eine gewogene Menge im Tiegel zu verkohlen und den kohligen Rückstand mit Salpetersäure und Wasser bis zu einem runden Maafstheile eines Liters aufzunehmen, und hiervon einen abpipettirten Theil mit der Probeflüssigkeit zu versetzen und wie angegeben zu verfahren. Eine vollständige Verbrennung der organischen Substanz zu Asche halte ich, wenn bei der Untersuchung nur Phosphorsäure nachzuweisen ist, nicht blofs für überflüssig, sondern glaube gefunden zu haben, dafs sie das Resultat durch Zersetzung der Phosphorsäure trübt. Soll jedoch die Verbrennung vollständig seyn, so verkohle ich zuerst die Substanz und setze derselben, nach Entfernung vom Feuer und erfolgter Abkühlung im Tiegel, Salpetersäure zu und bewirke durch wiederholtes Eintrocknen und Glühen die vollständige Verbrennung. Die nachstehenden Versuche mit Dampfknochenmehl bestätigen dies.

Versuch 11. 2 Grm. Knochenmehl wurden im Platintiegel nur verkohlt und mit Salpetersäure und Wasser zu 100 CC. aufgenommen.

- a) 10 CC. dieser Auflösung mit Eisenchlorid titirt, verbrauchten 4,6 CC., da jedes CC. Eisentiter 0,01 Grm. PO_3 repräsentirt, so sind 23 Proc. Phosphorsäure im Knochenmehl vorhanden.
- b) 5 CC. der Knochenmehlauflösung mit der Molybdänsäure-haltigen Probeflüssigkeit gefällt, lieferten einen Niederschlag, welcher 0,65 Grm. wog und worin somit 0,0234 Phosphorsäure, welche 23,4 Proc. hiervon in den Knochen repräsentiren.

Versuch 12. 2 Grm. desselben Knochenmehls, wie im vorigen Versuch, wurden im Tiegel unter Mithilfe von Salpetersäure zur Asche verkohlt und dann mit Salpetersäure und destillirtem Wasser zu 100 CC. aufgenommen.

- a) 10 CC. dieser Lösung gebrauchten 4,5 CC. Eisentiter und repräsentiren somit 22,5 Proc. Phosphorsäure in den Knochen.
- b) 5 CC. der Knochenlösung mit Probeflüssigkeit gefällt,

lieferten einen Niederschlag von 0,64 Grm., worin 0,023 Grm. PO_5 , mithin 23,0 Proc. in dem Mehle vorhanden sind. Um ungetrübte Resultate zu erhalten, habe ich eine Menge Versuche angestellt und Beobachtungen gemacht, von denen ich noch einige anführen will, um Andern die Mühe der Wiederholung zu ersparen.

Wer öfter Niederschläge von phosphormolybdänsaurem Ammoniumoxyd dargestellt hat, wird in weissen Porcellanschälchen leicht nach der Reinheit ihrer Farbe und schnell dem Absetzen in der Flüssigkeit beurtheilen können, ob denselben noch MoO_3 beigemischt sey.

Setzt man zu Molybdänsäure, welche mit einem Ueberschufs von Ammoniak aufgenommen ist, Schwefelsäure im Ueberschufs zu, so bleibt die MoO_3 gelöst und scheidet sich selbst beim Kochen nicht ab. Giebt man aber noch Salpetersäure hinzu, so scheidet sich beim Erhitzen Molybdänsäure ab; und man kann diese Abscheidung nach wiederholtem Filtriren und darauf folgendem Erhitzen aufs neue hervorrufen; ausserdem färbt sich die Flüssigkeit gelblich. Wird zu der mit Schwefelsäure bereiteten Auflösung Salzsäure gesetzt, so scheidet sich die MoO_3 noch leichter ab. Scheidet man daher mittelst der Schwefelsäure-haltigen Auflösung aus Phosphorsäurelösungen und unter Zusatz von Salpetersäure phosphormolybdänsaures Ammoniakoxyd ab, so ist dasselbe oft mit so viel MoO_3 vermischt, dafs ich ein Mal nur 1,13 Proc. PO_5 in dem Niederschlage fand.

Ein Uebermaafs von Weinsteinssäure bei Bereitung der Probestlüssigkeit ist zu vermeiden, so wie auch eine starke Erwärmung beim Auflösen der MoO_3 unstatthaft ist.

Wollte man durch die recht hübsche und sinnreiche Restmethode nach Sopp die Molybdänsäure bestimmen, welche nicht bei Erzeugung des Niederschlages zur Perception gelangte, so würde man sich die Arbeit unendlich erschweren und verlangsamen.

Die chemische Constitution des Niederschlages zu bestimmen, in welchem ich constant 3,607 Phosphorsäure fand, war mir wegen Zeitmangels nicht möglich; ich vermuthe je-

doch nach einigen Vorversuchen, daß die von Struve und Svanberg gefundene Zusammensetzung 3,631 Proc. PO_3 , 86,881 Mo O_3 , 9,488 Proc. Am O und H O annähernd die richtige seyn dürfte.

XII. *Anhaltendes Tönen einer Röhre durch eine Flamme; von P. Riefs.*

In früher mitgetheilten Versuchen ¹⁾ wurde der Grundton offener Röhren angeblasen durch die Flamme einer gewöhnlichen Kerze oder eines Leuchtgasbrenners mit Einer Oeffnung. Der Ton hatte eine große Stärke, aber nur eine Dauer von höchstens 70 Sekunden. Konnte das Aufhören des Tönens dem zu gering gewordenen Temperaturunterschiede der Flamme und des Metallnetzes in der Röhre zugeschrieben werden, so mußte durch Abkühlung des Netzes während des Versuches dem Ton eine längere Dauer gegeben werden.

Durch den Boden eines cylindrischen, mit Wasser gefüllten Kupfergefäßes ($5\frac{3}{4}$ par. Zoll hoch, $7\frac{1}{2}$ Zoll weit) war der obere Theil einer Kupferröhre hindurchgeführt, deren ganze Länge $12\frac{1}{4}$ Zoll und deren Weite $14\frac{3}{4}$ Linien betrug. An einer Scheibe von der Weite der Röhre aus feinem Messingdrahtnetze (40 Maschen = 1 Zoll) wurden die breiten Ränder umgebogen und durch einen breiten federnden Kupferring an die Röhrenwand gedrückt, die Fläche des Netzes $2\frac{1}{4}$ Zoll vom oberen Röhrenrande entfernt. Eine dünne Glasröhre war durch ein kurzes conisches, mit Baumwollendocht gestopftcs Messingrohr verlängert, das eine Oeffnung von $\frac{1}{3}$ Linie hatte, aus der Leuchtgas mit einer Flamme von nahe 2 Zoll Höhe brannte. Als die Flamme in den untern Theil der Kupferröhre eingeführt

1) Diese Ann. Bd. 108, S. 653.

und ihre Spitze dem Drahtnetze bis etwa $1\frac{1}{2}$ Zoll genähert war, tönte die Röhre 10 Minuten lang sehr stark; der Ton war unrein, zumeist *cis*² periodisch nahe bis *d*² steigend. In der Absicht, die Temperatur des Netzes noch mehr zu erniedrigen, wurde aus dünnem Kupferblech eine Scheibe von $11\frac{1}{4}$ Linien Durchmesser geschnitten und mit zwei bandartigen Fortsätzen versehen, die umgebogen und durch einen Kupferring an die innere Röhrenwand über dem Drahtnetze gedrückt wurden. Ehe die Scheibe das Netz berührte, als sie von ihm $\frac{1}{2}$ Linie entfernt war, fing die Röhre an zu tönen, und zwar reiner und tiefer als zuvor. Die Wirkung der Kupferscheibe bestand also hier in einer Beschränkung des Luftstromes, welche das Zustandekommen der Impulse unter dem Netze erleichterte.

In einem folgenden Versuche wurde die Kupferscheibe in innige Berührung mit dem Drahtnetze, und genau in dessen Mitte gebracht. Die Temperatur des Zimmers betrug $8^{\circ},5$ C., die des Wassers im Gefäße $12^{\circ},2$. Die Flamme brachte die Röhre zum Tönen mit einem glockenreinen *c*² von großer Stärke. Der Ton hielt (mit gleicher Reinheit und Stärke, wenn Bewegungen der Luft im Zimmer vermieden wurden) eine Stunde 11 Minuten an, während dessen das Wasser im Gefäße zuweilen umgerührt wurde. Nach dieser Zeit nahm der Ton an Stärke ab, an Höhe zu, und konnte zuletzt nur durch beständiges Umrühren des Wassers zu seiner früheren Beschaffenheit gebracht werden. Nachdem die Röhre im Ganzen 1 Stunde 31 Minuten getönt hatte, wurde der Versuch abgebrochen; die Temperatur des Wassers im Gefäße betrug $35^{\circ},4$ C. Man wird demzufolge mit Anwendung von mehr und kälterem Wasser oder der Erneuerung desselben während des Versuchs, im Stande seyn, dem durch Anblasen mittels einer Flamme erzeugten Tone einer Röhre eine beliebig längere Dauer zu geben.

Die folgende Erfahrung beseitigt den, auch sonst nicht zulässigen Verdacht, es sey bei dem Versuche der Ton der chemischen Harmonika im Spiele gewesen. Nachdem

das Wasser im Gefäße sich völlig abgekühlt, und die Röhre durch die Flamme einige Minuten rein und voll getönt hatte, wurde das Wasser abgelassen. Als der Wasserstand um 2 Zoll gesunken, und dadurch die Stelle der Röhre äußerlich entblößt war, an der innerlich das Metallnetz lag, hörte der Ton plötzlich auf und konnte nicht wieder hervorge-rufen werden.

21. November 1859.

XIII. *Eine neue Art von Klangfiguren durch Flüssigkeitstropfen gebildet; von F. Melde.*

Bei Anstellung des Versuchs, wo man ein glockenförmiges Gefäß mit Wasser oder einer anderen Flüssigkeit füllt, um auf der Oberfläche derselben die sich bildenden Wellenbewegungen zu beobachten, wenn das Gefäß angestrichen wird, gewahrte ich oft, wenn ich Wasser wählte, daß vom Rande des Gefäßes aus einzelne Wassertropfen nach der Mitte hin abgeschleudert wurden und sich einige Augenblicke über der Flüssigkeit *hielten*, ähnlich der Erscheinung welche sich bei dem Leidenfrost'schen Versuch darbietet, wenn man einen Aethertropfen auf die Oberfläche einer erwärmten Flüssigkeit bringt.

Wählt man nun statt Wasser, Weingeist oder Aether und füllt damit ein Trinkglas oder einen Trichter von ungefähr 3 Zoll Durchmesser am Rande und führt einen starken und einmaligen Strich aus, so wird man auf der Flüssigkeit eine ganz kurze Zeit lang eine Klangfigur entstehen sehen, welche von lauter Flüssigkeitstropfen gebildet ist. Gab das Gefäß den Grundton, so bildet jene Figur einen *vierstrahligen* Stern, dessen Spitzen nach den vier Knotenpunkten laufen; bei dem zweithöhern Ton dagegen, welchen das Gefäß giebt, wird der Stern *sechsstrahlig* und man

würde im Stande seyn noch mehrstrahlige Sterne zu erhalten, wenn das Gefäß noch höhere Töne mit Leichtigkeit erklingen liefs. Die Fig. 18 und 19, Taf. II geben ein Bild von zweien derartigen Sternen im nächsten Moment nach dem Anstrich an der Stelle *o*. Von einer Spitze zur andern läuft eine hyperbelähnliche Begränzungscurve. Von dieser Regelmäßigkeit zieht sich die Figur bald zusammen; die einzelnen Flüssigkeitstropfen vereinigen sich unter einander zu größeren und diese wieder mit der Gesamtflüssigkeit.

XIV. *Ueber die Fraunhofer'schen Linien; von G. Kirchhoff.*

(Aus d. Monatsbericht. d. Berl. Acad. October 1859.)

Bei Gelegenheit einer noch nicht veröffentlichten, von Bunsen und mir in Gemeinschaft ausgeführten Untersuchung über die Spectren farbiger Flammen, durch welche es uns möglich geworden ist, die qualitative Zusammensetzung complicirter Gemenge aus dem Anblick des Spectrums ihrer Löthrohrflamme zu erkennen, habe ich einige Beobachtungen gemacht, welche einen unerwarteten Aufschluß über den Ursprung der Fraunhofer'schen Linien geben und zu Schlüssen berechtigen von diesen auf die stoffliche Beschaffenheit der Atmosphäre der Sonne und vielleicht auch der helleren Fixsterne.

Fraunhofer hat bemerkt, dafs in dem Spectrum einer Kerzenflamme zwei helle Linien auftreten, die mit den beiden dunklen Linien *D* des Sonnenspectrums zusammenfallen. Dieselben hellen Linien erhält man leicht stärker von einer Flamme, in die man Kochsalz gebracht hat. Ich entwarf ein Sonnenspectrum und liefs dabei die Sonnenstrahlen, bevor sie auf den Spalt fielen, durch eine kräftige Koch-

salzflamme treten. War das Sonnenlicht hinreichend gedämpft, so erschienen an Stelle der beiden dunklen Linien *D* zwei helle Linien; überstieg die Intensität jenes aber eine gewisse Gränze, so zeigten sich die beiden dunklen Linien *D* in viel größerer Deutlichkeit, als ohne Anwesenheit der Kochsalzflamme.

Das Spectrum des Drummond'schen Lichtes enthält der Regel nach die beiden hellen Natriumlinien, wenn die leuchtende Stelle des Kalkcyinders noch nicht lange der Glühbitze ausgesetzt war; bleibt der Kalkcyylinder unverrückt, so werden diese Linien schwächer und verschwinden endlich ganz. Sind sie verschwunden oder nur schwach hervortretend, so bewirkt eine Alkoholflamme, in die Kochsalz gebracht ist, und die zwischen den Kalkcyylinder und den Spalt gestellt wird, dafs an ihrer Stelle zwei dunkle Linien von ausgezeichneter Schärfe und Feinheit sich zeigen, die in jeder Hinsicht mit den Linien *D* des Sonnenspectrums übereinstimmen. Es sind so die Linien *D* des Sonnenspectrums in einem Spectrum, in dem sie natürlich nicht vorkommen, künstlich hervorgerufen.

Bringt man in die Flamme der Bunsen'schen Gaslampe Chlorlithium, so zeigt das Spectrum derselben eine sehr helle scharf begränzte Linie, die in der Mitte der Fraunhofer'schen Linien *B* und *C* liegt. Läßt man Sonnenstrahlen von mäßiger Intensität durch die Flamme auf den Spalt fallen, so sieht man an dem bezeichneten Ort die Linie hell auf dunklerem Grunde; bei größerer Stärke des Sonnenlichts aber tritt an ihrer Stelle eine dunkle Linie auf, die ganz denselben Charakter hat als die Fraunhofer'schen Linien. Entfernt man die Flamme, so verschwindet die Linie, so weit ich habe sehen können, vollständig.

Ich schliesse aus diesen Beobachtungen, dafs farbige Flammen, in deren Spectrum helle, scharfe Linien vorkommen, Strahlen von der Farbe dieser Linien, wenn dieselben durch sie hindurch gehen, so schwächen, dafs an Stelle der hellen Linien dunkle auftreten, sobald hinter der Flamme eine Lichtquelle von hinreichender Intensität angebracht wird,

in deren Spectrum diese Linie sonst fehlen. Ich schliesse weiter, daß die dunklen Linien des Sonnenspectrums, welche nicht durch die Erdatmosphäre hervorgerufen werden, durch die Anwesenheit derjenigen Stoffe in der glühenden Sonnenatmosphäre entstehen, welche in dem Spectrum einer Flamme helle Linien an demselben Ort erzeugen. Man darf annehmen, daß die hellen, mit *D* übereinstimmenden Linien im Spectrum einer Flamme stets von einem Natriumgehalt derselben herrühren; die dunklen Linien *D* im Sonnenspectrum lassen daher schliessen, daß in der Sonnenatmosphäre Natrium sich befindet. Brewster hat im Spectrum der Salpeterflamme helle Linien aufgefunden am Orte der Fraunhofer'schen Linien *A*, *a*, *B*; diese Linien deuten auf einen Kaliumgehalt der Sonnenatmosphäre. Aus meiner Beobachtung, nach der dem rothen Lithiumstreifen keine dunkle Linie im Sonnenspectrum entspricht, würde mit Wahrscheinlichkeit folgen, daß Lithium in der Atmosphäre der Sonne nicht oder doch nur in verhältnißmäßig geringer Menge vorkommt.

Die Untersuchung der Spectren farbiger Flammen hat hiernach ein neues und hohes Interesse gewonnen; ich werde dieselbe, gemeinschaftlich mit Bunsen, so weit führen, als es unsere Mittel gestatten. Dabei werden wir die durch meine Beobachtungen festgestellte Schwächung der Lichtstrahlen in Flammen weiter erforschen. Bei den Versuchen, die in dieser Richtung von uns bereits angestellt sind, hat sich schon eine Thatsache ergeben, die uns von großer Wichtigkeit zu seyn scheint. Das Drummond'sche Licht erfordert, damit in ihm die Linien *D* dunkel hervortreten, eine Kochsalzflamme von niederer Temperatur. Die Flamme von wässerigem Alkohol ist hierzu geeignet, die Flamme der Bunsen'schen Gaslampe aber nicht. Bei der letzteren bewirkt die kleinste Menge von Kochsalz, sobald sie überhaupt sich bemerklich macht, daß die hellen Linien sie zeigen. Wir behalten uns vor, die Consequenzen zu entwickeln, die an diese Thatsache sich knüpfen lassen.

XV. *Die Photographie des Spectrums;* *von Dr. J. Müller.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. Berichten d. Verhändl. der naturforsch.
Gesellsch. zu Freiburg.)

Die Photographie des Spectrums, über welche ich im XCVII. Bande von Poggendorff's Annalen Seite 135 berichtet habe, war mit Glasapparaten dargestellt worden. Es war zu erwarten, daß der ultraviolette Theil des Spectrums in der Photographie noch ungleich länger ausgefallen wäre, wenn man bei Vermeidung alles Glases das Spectrum durch Quarzprisma und Quarzlinse dargestellt hätte.

Bei den geringen Mitteln unsers Instituts konnte ich nur nach und nach in den Besitz eines Heliostaten und den nöthigen Quarzapparaten gelangen und deshalb konnte ich denn erst im Herbst 1858 die Versuche zur Photographie eines Quarzspectrums wieder aufnehmen.

Das Quarzprisma, mit welchem ich das Spectrum darzustellen gedachte, war so geschliffen, daß die optische Axe des Krystalls senkrecht zu den Kanten des Prismas und parallel mit einer der drei Prismenflächen war.

War nun das Prisma so aufgestellt, daß die Strahlen dasselbe in der Richtung der optischen Axe durchliefen, so war es nicht möglich, ein Spectrum mit Fraunhofer'schen Linien zu erhalten; wenn auch eine oder die andere dieser Linien sichtbar wurde, so fehlten doch die andern.

Der Grund davon ist leicht einzusehen. Wenn auch ein Strahl von bestimmter Brechbarkeit das Prisma in der Richtung der optischen Axe durchläuft, so verfolgen doch die Strahlen, deren Brechbarkeit größer oder kleiner ist, nicht mehr genau die Richtung der optischen Axe. Bei der geringsten Abweichung von dieser Richtung macht sich aber die doppelte Brechung des Bergkrystalls schon so weit geltend, daß dadurch die Bildung Fraunhofer'scher Linien verhindert wird.

In dieser Stellung ist also das Quarzprisma zur Photographie des Spectrums mit all seinen dunklen Streifen nicht anwendbar. Ich stellte deshalb das Prisma so, daß diejenige Fläche des Prismas, mit welcher die optische Axe parallel läuft, eine der brechenden Flächen wurde. Auf diese Weise erhielt man zwei Spectra, welche freilich theilweise übereinander fielen; allein das am meisten abgelenkte Spectrum erschien doch vom Grün an vollkommen rein, so daß die Fraunhofer'schen Linien *F*, *G* und *H* auf einem Papierschirm deutlich sichtbar waren.

Die auf das Prisma fallenden Lichtstrahlen waren durch den Metallspiegel eines Silbermann'schen Heliostaten reflectirt, und zur Projection des Spectrums diente eine Quarzlinse von 4 Fufs Brennweite.

Die durch Hrn. Th. Hase ausgeführte Photographie des besprochenen Spectrums war nun in der That bei weitem mehr ausgedehnt als das photographirte Spectrum eines Glasprismas. Während letzteres sich nur bis zu der mit *N* bezeichneten Streifengruppe erstreckte, ging das Spectrum des Quarzprismas noch um ein Stück über *N* hinaus, welches größer war als der Abstand von *H* und *N*. Leider erschien aber das ganze Spectrum ungemein verwaschen, so daß kein Streifen die gehörige Schärfe hatte.

Einige Exemplare dieser Photographie des Quarzspectrums habe ich in der physikalischen Section der Naturforscher-Versammlung zu Karlsruhe vorgezeigt.

Ich schrieb diesen Mangel an Schärfe dem Umstand zu, daß die beiden Spectren, welche das Quarzprisma lieferte, theilweise übereinander fielen, daß namentlich der ultraviolette Theil des am wenigstens abgelenkten Spectrums weit in das andere Spectrum hineinragte.

Um diesen Uebelstand zu vermeiden, schien es mir am zweckmäßigsten, die durch den Spalt in das dunkle Zimmer eintretenden Strahlen sogleich durch ein achromatisirtes Quarzprisma (zwei Quarzprismen, nach der in meinem Lehrbuch der Physik, 5. Auflage, 1. Band, Seite 671 beschriebenen und Fig. 747 dargestellten Weise zusammenge kittet)

aufzufangen. Wenn das von dem Spalte kommende Lichtbündel von einem solchen Apparat aufgefangen wird, so treten zwei gesonderte Strahlenbündel aus, welche rechtwinklig zu einander polarisirt sind. Dreht man das achromatisirte Quarzprisma so, daß die beiden Bilder horizontal neben einander liegen, so ist die Schwingungsrichtung des einen horizontal, die des andern aber vertical. Stellt man also das Quarzprisma, welches das Spectrum liefern soll, mit vertical gestellter Brechungskante in eins der beiden aus dem achromatisirten Prismen austretenden Strahlenbündel, so wird man nur ein einziges einfaches Spectrum erhalten; es ist also auf diese Weise der Nachtheil der theilweisen Deckung zweier Spectra gehoben.

Die beiden Stücke des achromatisirten Quarzprismas sind zwar mit Canadabalsam zusammengeklebt, und es wäre denkbar, daß diese Substanz absorbirend auf die ultravioletten Strahlen wirkte; allein die Schicht ist jedenfalls so dünn, daß zu hoffen stand, sie werde keinen störenden Einfluß ausüben. Bis ich jedoch im Besitz eines zu dem angedeuteten Zweck brauchbaren achromatisirten Quarzprismas kam, war die Jahreszeit so weit vorgeschritten, daß in unsern Localen nicht mehr mit Sonnenlicht experimentirt werden konnte; ich mußte deshalb weitere Versuche über die Photographie des Quarspectrums auf den Sommer 1859 verschieben.

In den sonnenhellen Tagen des Juli hat nun Hr. Th. Hase die Photographie des Quarspectrums abermals vorgenommen, nachdem ich die Apparate auf das sorgfältigste aufgestellt hatte.

Unter einer Reihe negativer Platten wurden die zwei am besten gelungenen zur Vervielfältigung ausgewählt und mit I und II bezeichnet ¹⁾.

1) Der Hr. Verf. hat die Güte gehabt diese Photographien seinem Aufsatz beizulegen; da indess dieselben durch Kupferstich oder Steindruck nur äußerst schwer recht getreu wiederzugeben sind, so habe ich sie hier lieber ganz fortgelassen, und verweise dafür die Leser auf die zu Esselbach's Abhandlung gehörige Fig. 4, Taf. V, Bd. XCVIII mit deren Hülfe das hier Gesagte deutlich werden wird.

No. I enthält *zwei* photographirte Spectra, welche mit einer Lichteinwirkung von 1 und 2 Sekunden erhalten wurden. Die Partie zwischen *G* und *L* ist hier freilich nicht so rein und scharf als auf dem schon früher publicirten Glasspectrum (Pogg. Ann. Bd. XCVII), die Streifen *M*, *N* und *O* sind aber sehr schön sichtbar. Das mit einer Lichtwirkung von 2" hergestellte Bild dieser Tafel geht noch über *O* hinaus, während das Glasspectrum bei einer Lichtwirkung von 15" sich kaum etwas über *N* hinaus erstreckt.

Die Platte No. II enthält *fünf* Spectra, welche mit einer Lichtwirkung von 1, 2, 4, 8 und 16 Sekunden hergestellt sind. Wenn auch weniger scharf und etwas kleiner als die Spectra auf No. I, so zeigen sie doch die Streifen der brechbarsten Strahlen mit hinlänglicher Schärfe, um ihre Positionen bestimmen zu können.

Das erste Spectrum dieser Tafel erstreckt sich etwas über *O* hinaus, das zweite bis *Q*, das dritte über *Q* hinaus, das vierte und fünfte über *R* hinaus.

Somit zeigen die früher dargestellten Glasspectra Details, welche in unsern Quarspectren fehlen, diese dagegen enthalten Linien, welche im Glasspectrum nicht mehr sichtbar sind, die Tafel mit den Glasspectren und die beiden Tafeln mit Quarspectren ergänzen sich demnach gegenseitig.

Gehen wir nun zur Beschreibung der wichtigsten dunklen Linien und Liniengruppen des ultravioletten Spectrums über, welche von Stokes und Esselbach mit *L*, *M*, *N*, *O*, *P*, *Q*, *R* und *S* bezeichnet wurden.

Die äußersten Streifen des unmittelbar sichtbaren Spectrums sind diejenigen, welche Fraunhofer mit *H* bezeichnet; es sind dieß zwei starke dunkle Streifen, welche durch einen Zwischenraum getrennt sind, welcher noch etwas breiter ist, als die Breite eines dieser Streifen selbst. Wie wir aus der Photographie der Glasspectra bei einer Lichteinwirkung von 1 und 2 Sekunden sehen, sind aber diese Streifen weder ganz einfache dunkle Balken, noch ist ihr Zwischenraum einfach hell, er erscheint vielmehr von einer Reihe feiner dunkler Linien durchzogen, wie dieß auch schon in

der trefflichen Fraunhofer'schen Abbildung des Spectrums zu sehen ist. (Denkschr. d. k. Acad. d. Wissenschaften zu München V. Band.)

L erscheint in den Quarzspectren übereinstimmend mit der Zeichnung von Stokes (Pogg. Ann. Ergänzungsbd. IV, Tab. I) als ein breiter Schatten; die Photographie des Glasspectrum bei einer Lichteinwirkung von 10 und 45 Sekunden zeigt uns aber diesen Schatten in fünf deutlich getrennten Linien aufgelöst.

Mit *M* wird eine Gruppe von 4 Streifen bezeichnet, welche sich übereinstimmend mit der Zeichnung von Stokes auf der Photographie der Glasspectren bei 4, 10 und 15 Sekunden Lichteinwirkung und in den Quarzspectren Platte I finden. In den Quarzspectren der Platte II sind sie kaum mehr als einzelne Streifen zu unterscheiden, obgleich die Position noch deutlich zu erkennen ist.

N, ein auffallend heller Streif, auf welchen nach der von *H* abgewendeten Seite hin zwei starke, auf der andern Seite aber vier schwächere dunkle Streifen folgen. Diese Gruppe ist auf Platte II der Quarzspectra noch deutlich zu erkennen, wenn man auch nicht in allen die einzelnen dunklen Streifen derselben unterscheiden kann. In den Quarzspectren Platte I sind sie sehr deutlich und ebenso in den letzten der Glasspectra. Auch in der Zeichnung von Stokes findet man diese Gruppe.

Die von Esselbach (Pogg. Ann. Bd. XCVIII) mit *O* bezeichnete, im Vergleich zu den benachbarten sehr dunkle und ziemlich scharfe Linie, welche ich auch auf den Quarzspectren mit *O* bezeichnet habe, ist offenbar dieselbe, welche Stokes mit *p* bezeichnet hat.

Die von Esselbach mit *P*, *Q*, *R* und *S* bezeichneten Streifen finden sich nicht mehr auf der Zeichnung von Stokes, dagegen finden sie sich in den Quarzspectren der Platte II.

P wird durch zwei ziemlich nahe stehende und scharfe Linien gebildet. — *Q* ist durch zwei dunkle Streifen gebildet, welche noch breiter sind und noch weiter von ein-

ander absteilen als die Streifen *H*. — *R* ist eine der Gruppe *Q* ganz ähnliche. Zwischen *Q* und *R* zeigen die beiden letzten Spectra der Tab. II noch 4 weitere dunkle Streifen. — *S* läßt sich nicht mehr mit Sicherheit charakterisiren.

Um die Lage dieser Linien im Quarzspectrum genauer zu fixiren, will ich den Abstand angeben von der Mitte einer jeden Liniengruppe bis zur Mitte zwischen den beiden Streifen *H*.

Nehmen wir die Entfernung der beiden Streifen *H*, d. h. die Entfernung von der Mitte des einen dunklen Streifens bis zur Mitte des andern, als Einheit, so ist die Entfernung von der Mittellinie der *H*-Gruppe bis zur Mittellinie von

<i>L</i> = 3,52	<i>P</i> = 21,80
<i>M</i> = 6,82	<i>Q</i> = 26,11
<i>N</i> = 11,36	<i>R</i> = 33,33
<i>O</i> = 17,63	

dabei ist angenommen:

für die Mittellinie von *L* die Mitte des breiten Schattens, welche im Glasspectrum in fünf einzelne Streifen aufgelöst erscheint; — für die Mittellinie von *M* die Mitte zwischen dem zweiten und dritten der vier Streifen, welche diese Gruppe bilden; — für die Mitte von *N* die Mittellinie des hellen Streifens, welcher die Gruppe charakterisirt; — für die Mittellinie *P* die Mitte zwischen den beiden *P*-Streifen; — für die Mittellinie von *Q* und für die Mittellinie von *R* die Mitte des hellen Streifens, welche diese Partien auszeichnen.

Auffallend ist es, daß die chemische Wirkung des Lichtes ganz nahe beim Streifen *G* gegen *F* hin so plötzlich aufhört; die photographirten Glasspectren erscheinen hier förmlich abgeschnitten, während bei den Quarzspectren sich an die scharfe Gränze der stärksten Lichtwirkung noch ein Streifen schwacher Lichteinwirkung ansetzt, der sich bei 8 und 16 Sekunden selbst bis *F* fortsetzt. Dieser Unterschied liegt aber gewiß nicht darin, daß man das eine Mal ein Glas- das andere Mal ein Quarzprisma anwandte, sondern lediglich darin, daß das Collodium, welches zur Photogra-

phie der Quarspectren angewandt worden war, etwas *Brom* enthielt, was bei dem für die Glasspectren angewandten Collodium nicht der Fall war. Es scheint also, daß der Bromgehalt des Collodiums die Einwirkung der weniger brechbaren Strahlen befördert.

Eine sehr sonderbare Erscheinung zeigt sich, wenn man eine bromhaltige Collodiumschicht 45 bis 60 Sekunden lang dem Licht des Spectrums aussetzt. Es bildet sich alsdann zwischen den *F* und *G* eine nebelartige Erweiterung des Spectrums, welche ich in keiner Weise zu erklären vermag. Dieser Auswuchs ist auf einer dritten Tafel photographirter Quarspectren zu sehen, auf welcher übrigens die Fraunhofer'schen Linien des ultravioletten Spectrums ziemlich verwaschen erscheinen. Von irgend einer zufälligen Ursache kann diese Ausbreitung nicht herrühren, denn als ich im Frühjahr 1855 mit Hrn. Prof. v. Babo mit ganz anderen Apparaten und bei ganz anderer Aufstellung Versuche über die Photographie des Spectrums anstellte, zeigte sich dieselbe Erscheinung noch weit stärker und zwar genau an derselben Stelle, wie jetzt bei der Photographie der Quarspectra ¹⁾.

1) Die verschiedenen oben besprochenen Spectra sind direct durch den Hrn. Hof-Photographen Theodor Hase oder durch die Buchhandlung von Diernfellner zu Freiburg i. B. oder endlich durch Hrn. Joh. Val. Albert Sohn in Frankfurt a. M. zu beziehen und zwar:

- 1) Die Tafel mit 5 Glasspectren zu 1 Thaler 10 Sgr.
- 2) Die Tab. I der Quarspectra (2 Spectra enthaltend) zu 1 Thaler.
- 3) Die Tab. II der Quarspectra (5 Spectra enthaltend) zu 1 Thaler.
- 4) Die Tab. III der Quarspectra (5 Spectra enthaltend, von welchen die beiden letzten den oben besprochenen Nebel zeigen) zu 1 Thaler.

XVI. Ueber die Brechbarkeit der ultravioletten Strahlen, beobachtet mit verschiedenen Prismen von Quarz; vom Fürsten zu Salm-Horstmar.

Bei Versuchen über den großen Unterschied in der Länge des Spectrums der jenseits-violetten Strahlen, wie er zwischen Prismen von Glas und guten Prismen von Bergkrystall besteht, fand ich bei meinen sehr gut geschliffenen Prismen von Bergkrystall, dafs sie den erwarteten Dienst nicht leisteten, indem das damit auf Fluorescenzpapieren erhaltene Spectrum *nicht* merklich länger war als durch Prismen von Glas. Bei genauerer Untersuchung dieser Quarzprismen fand ich, dafs wenn eine verticale Fenstersprosse, bei schräger Beleuchtung, so durch das Prisma betrachtet wurde, dafs die horizontal gehaltene brechende Kante nach unten lag, die verticale Fenstersprosse, eine deutlich *wellenförmige* Linie bildete, was noch viel deutlicher wurde, wenn das Auge zugleich durch ein Nichol sah, bei dessen Drehung die verschiedensten Farben sich zeigten. Die Quarzmasse war also *nicht* homogen, sie bestand aus Theilen verschiedener Brechbarkeit und Theilen deren Krystallaxen anders lagen, oder im selben Krystall kleine Krystalle von allotropischer Kieselerde, denn ich besitze einen Bergkrystall auf dessen gut geschliffener Fläche sich deutlich sehen läfst, dafs gewisse Stellen mehr vom Schliff angegriffen werden, also *weicher* sind als andere Stellen, und sie eine bestimmte Figur haben.

Nun ist es aber doch sehr auffallend, dafs das Spectrum der *sichtbaren* Strahlen alle Farben in regelmässiger Folge zeigte, die brechbarsten Strahlen aber eine Ausnahme machten, so dafs dieser Quarsz sich verhielt wie Glas. Warum verhielten sich hier die brechbarsten Strahlen anders?

Für mich ist es ein Räthsel und ich wollte die HH. Physiker und Mineralogen nur auf diesen Gegenstand aufmerksam machen. Man sagt beim Glas: diese Strahlen ge-

hen nicht durch, sie werden absorbirt, und das kann man auch von diesem Bergkrystall sagen; aber warum gehen sie durch den andern Bergkrystall? und werden von ihm richtig gebrochen, mit so großer Verlängerung des Spectrums.

XVII. Photographie des Unsichtbaren.

(Aus d. *Cosmos* Vol. XV, p. 521.)

Auf der im September vorigen Jahres (1859) zu Aberdeen abgehaltenen Versammlung britischer Naturforscher zeigte Hr. Dr. Gladstone folgenden höchst auffallenden Versuch.

Auf weißes Papier hatte er mit einer Lösung von saurem schwefelsaurem Chinin einige Schriftzüge und Zeichnungen gemacht. Das Auge konnte durchaus nichts erkennen. Um dahin zu gelangen, hätte man das Papier mit einem fluorescirenden Lichte beleuchten müssen, z. B. mit elektrischem Lichte, das durch ein violettes Glas gegangen. Hr. Gladstone stellte nun sein Papier vor der *Camera obscura* auf, nachdem er ein Stückchen auf gewöhnliche Weise beschriebenes Papier daran geklebt, um es in den Brennpunkt bringen zu können. Das Auge erblickte auf dem matten Glase dieses Instruments durchaus nichts; dasselbe wurde nun fortgenommen und statt seiner eine collodionirte Platte eingesetzt. Nachdem sie dem von dem weißen Papier reflectirtem Lichte eine sehr kurze Zeit ausgesetzt gewesen, wurde sie behandelt, wie man die Platten der gewöhnlichen Photographien zu behandeln pflegt; da sah man dann zu seiner angenehmen Ueberraschung ein deutliches Bild von Schriftzügen und Zeichnungen. Activer als die von dem bloßen Papier ausgesandten Strahlen; hatten die fluorescirenden Strahlen des schwefelsauren Chinins ein deutliches Bild hervorgerufen ¹⁾.

1) Dieß ist ein Irrthum, der auch in der folgenden Lieferung des *Cosmos* berichtigt wird. Die vom schwefelsauren Chinin ausgehenden Strahlen

Mit einer verdünnten Lösung von Chlorophyll wiederholt, gelang der Versuch ebenfalls vollkommen. Um seine fluorescirende Chlorophyll-Lösung zu bereiten, nimmt Hr. Gladstone einfach Theeblätter, die er erst mit heißem Wasser bis zur völligen Entziehung ihres Farbstoffs erschöpft, und darauf einige Stunden mit Alkohol behandelt. Dadurch erhält er eine kaum gefärbte, und, auf Papier ausgestrichen, kaum sichtbare Lösung, die dennoch im hohen Grade fluorescirend ist. Hr. Gladstone bemerkt, daß sich sein niedlicher Versuch unendlich abändern lasse; daß man, statt ein Bild von einem unsichtbaren Papier zu erhalten, farbige Papiere so zubereiten könne, daß das photographische Bild absolut das umgekehrte von dem optischen sey.

XVIII. Ueber eine Methode, zu untersuchen, ob die Bewegung des brechenden Körpers einen Einfluß habe auf das Polarisationsazimut des gebrochenen Strahls; von Hrn. H. Fizeau.

(Compt. rend. T. XLIX, p. 717.)

Das Daseyn des Lichtäthers scheint gegenwärtig so wohl festgestellt, und die Rolle, welche dieses überall verbreitete

sind nicht activ, sondern weniger activ als die, welche das bloße Papier reflectirt; denn die Schriftzüge auf der Glasplatte erscheinen weiß auf schwarzem Grunde. Ich kann dieß aus eigener Erfahrung bezeugen, da Hr. Lipowitz hieselbst den Gladstone'schen Versuch wiederholt und die Güte gehabt hat, mir das Product desselben zu zeigen. Hr. Lipowitz hat dasselbe Resultat auch mit Aesculinlösung erhalten. Es scheint sogar, als sey letztere wirksamer als die des schwefelsauren Chinins; denn ein Papier, welches ich mit beiden Lösungen beschrieb, und darauf einem Photographen zum Copiren übergeben hatte, gab bei vier Versuchen, unter verschiedener Ausstellungszeit, immer nur von der Aesculinschrift ein Bild auf der Glasplatte. P.

Wesen in der Natur spielen kann, so wichtig zu seyn, daß man sich wundern muß über die kleine Anzahl bekannter Erscheinungen, in welchen es sich mit Sicherheit offenbart. Es läßt sich indess voraussehen, daß die größten Fortschritte der physikalischen Wissenschaften die wahrscheinliche Folge von Entdeckungen seyn werden, die nach und nach unsere Kenntnisse über diesen Gegenstand erweitern. Mit diesem Gedanken habe ich verschiedene Untersuchungen vorgenommen, die speciell auf das oben bezeichnete Ziel gerichtet waren. Die ersten positiven Resultate, zu welchen ich gelangte, waren Gegenstand einer Abhandlung, welche ich 1851 dem Urtheile der Akademie unterwarf. In dieser Abhandlung prüfte ich verschiedene Hypothesen, die über die Beziehung des Lichtäthers zu sich bewegenden Körpern gemacht waren; ich zeigte darauf, daß diese Hypothesen entscheidend auf die Probe gestellt werden können, wenn man die Lichtgeschwindigkeit in den Körpern bei Ruhe und bei Bewegung derselben mißt; endlich gab ich die Resultate von Versuchen, durch welche festgestellt werden konnte, daß die Bewegung eines Körpers wirklich die Geschwindigkeit des darin sich fortpflanzenden Lichtes abändert. Indem ich nämlich Wasser durch eine der Arago'schen Doppelröhren mit Geschwindigkeit hindurchtrieb und die Interferenzfransen, welche die das bewegte Wasser durchlaufenden Strahlen bildeten, beobachtete, konnte ich diese Erscheinung feststellen und messen. ¹⁾

Derselbe Versuch wurde mit einem gasigen Mittel, mit der Luft, angestellt, aber dabei war die Verschiebung unmerklich. In der Abhandlung habe ich die Gründe dieses negativen Resultats angegeben und gezeigt, daß dasselbe der geringen Dichte des Mediums zugeschrieben werden muß und keineswegs der beim Wasser beobachteten Thatsache widerspricht.

Um die Resultate dieser Untersuchungen zu vervollständigen und zu erweitern, war es wichtig, einen starren Körper in gleicher Beziehung zu studiren, um zu ermitteln, ob

1) Ann. Ergänzbd. III, S. 457.

(P.)

sich auch darin das Licht mit verschiedener Geschwindigkeit fortpflanzen würde, wenn er in Ruhe oder Bewegung ist. Zu diesem Behufe sind die Versuche unternommen, die ich jetzt in der neuen Abhandlung dem Urtheile der Akademie unterwerfe.

Was die Beobachtungsweise betrifft, so konnte die früher bei der Luft und dem Wasser angewandte wohl auf andere Gase und Flüssigkeit angewandt werden, nicht aber auf starre Körper. Ich mußte also eine andere Methode anwenden. Folgendes sind die Principien, auf welche sie gegründet ist. Man weiß seit langer Zeit aus den Untersuchungen von Malus, von Biot und von Brewster, daß wenn ein polarisirter Lichtstrahl durch eine geneigte Glasplatte geht, die Polarisationssebene im Allgemeinen beim durchgelassenen Strahl nicht dieselbe ist wie beim einfallenden. Unter dem Einfluß der zwei an den beiden Oberflächen der Platte erzeugten Refractionen erleidet die ursprüngliche Polarisationssebene eine gewisse Drehung, deren Werth zugleich abhängt: 1) von der Neigung des Strahls gegen die Glasplatte oder dem Einfallswinkel, 2) von dem Azimut der ursprünglichen Polarisationssebene, bezogen auf die Refractionsebene, und 3) von dem Refraktionsindex der Substanz der Platte.

Besonders der Einfluß des Refraktionsindexes ist es, der hier in Betracht kommt. Bei gleichem Einfallswinkel und gleichem Azimut ist die Drehung desto größer, je stärker der Refraktionsindex der Substanz der Platte ist; und da der Refraktionsindex eines Körpers umgekehrt proportional ist der Lichtgeschwindigkeit in demselben, so folgt, daß der Werth der Drehung bedingt wird von der Geschwindigkeit, mit welcher sich das Licht in der betrachteten Substanz fortpflanzt, die Drehung desto größer ist, je geringer die Geschwindigkeit des Lichts. Wenn also durch irgend eine Ursache die Lichtgeschwindigkeit im Innern der Substanz eine Veränderung erfährt, so läßt sich voraussetzen, daß die Drehung eine entsprechende Veränderung erleiden werde, und das Studium der Geschwindigkeit des Lichts wird so-

mit zurückgeführt auf die Beobachtung einer leicht nachzuweisenden Erscheinung, nämlich der Drehung der Polarisationsebene.

Untersuchen wir nun, wie dieses Princip angewandt werden könne auf die kleinen Geschwindigkeits-Veränderungen, welche das Licht bei seinem Durchgange durch einen starren, in Bewegung begriffenen Körper zu erleiden vermag.

Vor Allem schien die Bestimmung nothwendig: *welche Veränderung der Werth der Drehung durch eine Vergrößerung oder Verringerung des Brechungsindex erleiden würde.* Directe und vergleichende Messungen der Refraktionsindexe und der Drehungen sind, für Flint- und gemeines Glas in der Abhandlung beigebracht; sie zeigen, daß wenn der Index um einen kleinen Bruch zunimmt, die Drehung um einen $4\frac{1}{2}$ Mal größeren Bruch wächst.

Suchen wir nun, *welche Geschwindigkeits-Veränderung wir einem Lichtstrahl im Innern eines Glases beilegen können, wenn wir dieses als in Bewegung voraussetzen.*

Obgleich noch kein positiver Versuch die Frage entschieden hat, so berechtigen doch die größten Wahrscheinlichkeiten zu der Voraussetzung, daß die Bewegung des Glases bei dem inneren Lichtstrahl eine analoge Geschwindigkeitsänderung hervorbringen müsse, wie sie für das Wasser durch die Erfahrung nachgewiesen ist, und daß diese Veränderung bei dem einen wie bei dem anderen Mittel gemäß einer Hypothese geschehe, welche Fresnel als die geeignetste erdacht hat, um zugleich das astronomische Phänomen der Bradley'schen Aberration und den negativen Versuch von Arago über die Brechung des Sternenlichts in einem Glasprisma zu erklären: eine Brechung, welche nach der Voraussetzung dieses großen Physikers durch die Umlaufsbewegung der Erde abgeändert werden müßte, welche aber die Erfahrung als vollkommen constant erwiesen hat.

Man ist also berechtigt, die Fresnel'sche Formel anzuwenden, um zu sehen, wie groß die Geschwindig-

keits-Veränderung ist, welche der Strahl im Innern des Glases unter dem Einfluß der Bewegung dieses erleiden kann.

Die größte Geschwindigkeit, welche wir einem Körper bei unseren Versuchen zu ertheilen im Stande sind, ist sicher die Geschwindigkeit der Umlaufbewegung der Erde, eine Geschwindigkeit, die unser Verstand kaum zu fassen vermag, da sie nicht weniger als 31000 Meter pro Sekunde beträgt. Diese Bewegung, welche sich unserem Auge entzieht, weil wir und alle uns umgebenden Gegenstände gleichzeitig mit derselben begabt sind, geschieht in einer Richtung, welche sich für unsere Instrumente, sowohl mit den Jahreszeiten als mit den Tagesstunden, unaufhörlich verändert, aber immer leicht zu bestimmen ist. Zur Zeit der Sonnenwenden z. B. ist diese Richtung horizontal und, um Mittag, von Ost nach West, so daß unter diesen Umständen eine Glasplatte, welchen einen von Westen kommenden Strahl empfängt, betrachtet werden muß, als bewege sie sich wirklich mit einer Geschwindigkeit von 31000 Metern pro Sekunde in einer der Fortpflanzung des Lichts entgegengesetzten Richtung. Kommt dagegen der einfallende Strahl von Osten, so muß die Platte angesehen werden, als bewege sie sich mit derselben Geschwindigkeit in gleicher Richtung wie das Licht.

Was für das Glas die Aenderung der Drehung betrifft, die einer durch die Bewegung der Erde hervorgebrachten Aenderung der Geschwindigkeit des Strahls entspricht, so führt die in der Abhandlung entwickelte Rechnung zu der Annahme, daß die Drehung, welche durch das Glas unter dem Einfluß der jährlichen Bewegung, betrachtet in ihren beiden entgegengesetzten Richtungen, hervorgebracht wird, eine wahrscheinliche Aenderung von $\frac{1}{1350}$ erleidet.

Mittel, den gebrochenen Strahl durch Glassäulen zu isoliren. — Die ersten Versuche bezweckten den gebrochenen Strahl vollkommen zu isoliren, da er unter den übrigen an den Glasflächen reflectirten Strahlen allein beobachtet zu werden braucht. Minutiöse Vorrichtungen wurden als nothwendig erkannt, um den directen Strahl vollkommen zu

isoliren und ihm zugleich eine mit seiner ursprünglichen Richtung fast parallele zu bewahren.

Optische Vorrichtung zur Beobachtung der Drehungen.

Dieser in der Abhandlung beschriebene Apparat erlaubt, in die Bahn eines polarisirten parallelen Lichtbündels, dessen ursprüngliche Polarisationssebene durch einen getheilten Kreis bestimmt worden, eine Reihe Gassäulen zu bringen und die durch Wirkung dieser Säulen hervorgebrachte Drehung der Ebene mittelst eines zweckmäßigen Zerlegers zu messen. Der Apparat kann in verschiedene Richtungen gebracht werden, um so den Einfluss der Bewegung der Erde auf die Erscheinungen studiren zu können.

Damit man die zweifache Beobachtung bequem und rasch anstellen könne, sind zuvor zwei Spiegel angebracht, einer im Osten und der andere im Westen des Instruments; und mittelst eines Heliostaten schickt man ein Bündel Sonnenlicht abwechselnd auf den einen oder den andern dieser Spiegel, von welchen es auf das Instrument reflectirt wird.

Die Schwierigkeiten, die aus der Härtung (*trempe*) der Gläser entspringen, sind größer als man bisher in dergleichen Untersuchungen angetroffen hat. Es wurde eine bedeutende Anzahl von Glasstücken verschiedener Herkunft und verschiedener Natur mit Sorgfalt untersucht, aber keins derselben ganz frei von Härtung befunden. Man versuchte diese Glasstücke auf verschiedene Weise anzulassen, allein es gelang nur die Härtung zu verringern, nicht sie zu zerstören. Es wurden Gläser aus verschiedenen Hütten versucht, aber ohne vollständigeren Erfolg. Ungeachtet dieser Erfolglosigkeit ist es jedoch erlaubt zu hoffen, dass neue Versuche, mit Ausdauer angestellt, die Hebung dieser Schwierigkeit künftig gestatten werden.

Durch Anwendung von Compensationskunstgriffen und durch Benutzung der merkwürdigen Eigenschaft der Gassäulen, für gewisse Azimute die Veränderungen der Drehung zu vergrößern, gelang es indeß, mit noch unvollkommenen Gläsern, mehre Säulen - Vorrichtungen herzustellen,

mittelst deren die in den folgenden Tafeln aufgeführten Versuche gemacht werden konnten.

Vorrichtung A.

Tag	Zahl der Beobachtungen		Ueberschufs d. Drehung für d. Richtung VWest	Mittlere Stunde
	gen Ost	gen VWest		
Juni 2	11	18	33'	4 ^h m ¹⁾
3	34	32	45	2 30
4	54	57	60	12
5	46	55	66	12
6	15	15	90	11 30
	15	15	20	1 45
	20	20	23	4
7	15	15	53	11 30
8	25	25	38	2 30
9	30	27	25	3 30
13	30	31	54	12
15	17	19	73	1
	20	22	8	4
	12	13	89	11 45
16	12	15	75	2 15
	21	18	61	4
20	17	21	42	3
21	27	29	57	12 15
	21	15	31	4
24	40	41	46	12 15
	20	22	— 7	4
	10	10	53½	1 30
27	10	10	37	3
	10	10	23½	4
28	11	12	60	12
30	20	20	32	2 30
Juli 1	26	23	53½	12 45
2	24	20	49	11 30
	15	15	23½	4

- 1) Berechneter Ueberschufs, Sonnenwende, Mittag, 45' bis 65'.
- 2) In diese drei Reihen führte man, durch Neigen der Drehungsaxe, absichtlich einen constanten Fehler ein, um den Einfluss der Stunde in den verschiedenen Umständen der vorhergehenden zu beobachten.
- 3) Von dieser Reihe ab fügte man dem Apparat ein Hilfsfernrohr hinzu, bestimmt dazu, sich von der Einerleiheit der Richtung des Strahls in den beiden Stellungen des Apparats zu versichern.
- 4) Umgekehrter Ueberschufs d. h. für die Ost-Richtung.
- 5) Von dieser Reihe ab ist der Apparat verstärkt durch zwei angekittete lange Glasröhren, um Biegungen zu verhüten.
- 6) Ein Lothfaden ist dem Apparat hinzugefügt, um die Axe vertical zu halten und Biegungen zu verhüten.

Tag	Zahl der Beobachtungen		Ueberschufs d. Drehung für d. Richtung VWest	Mittlere Stunde
	gen Ost	gen VWest		
3	25	15	39'	11 ^h 15 ^m
	15	15	19	4
Juli 4	10	10	39	1
	16	16	9 $\frac{1}{2}$	4
5	10	20	56 $\frac{1}{2}$	1
	10	10	26	3
6	20	20	55 $\frac{1}{2}$	12 15
	10	10	25	2 30
7	10	10	23 $\frac{1}{2}$	3 45
	10	15	47	2 30
8	10	14	30	4
	10	20	62	11 15
9	10	20	50	12 45
	11	12	43	2 45
10	10	10	19	4
	8	8	55 $\frac{1}{2}$	10 45
11	10	10	59	12 30
	10	10	43	2 45
12	10	10	26	4
	10	10	44	10 30
13	10	10	59	12 30
	14	14	28	4
14	10	10	59	1
	10	10	27	4
15	16	16	50	12 30
	14	14	31	4
16	10	10	43	1
	10	10	42	2
17	10	10	3	3 45
	10	10	59	12 15

- 1) Da einer der Spiegel (der östliche) schadhaft zu seyn schien, so wurde der andere in zwei Stücke zerschnitten, das eine für Ost, das zweite für VWest.
- 2) Verbesserung der Bilder durch eine kleine Aenderung in der Richtung des Strahls und durch Zusatz eines Schirms.
- 3) Abwechselnde Beobachtungen von zwei zu zwei, um den Einfluss der Temperaturveränderungen zu verringern.
- 4) Die Reihe um 4^h mit besonderen Vorsichtsmaafsregeln gemacht.
- 5) Am 14. kehrte man die Lage der Spiegel um; durch Wirkung der Wärme auf die Korke ist eine der Säulen wackelig geworden.

Vorrichtung B.

Tag	Zahl der Beobachtungen		Ueberschuß d. Drehung für d. Richtung West	Mittlere Stunde
	gen Ost	gen West		
Sept. 18	11	13	81'	3 ^b 1)
20	14	18	139	2
24	16	16	128	1 15 2)
Oct. 5	10	10	120	1 30
6	8	4	155	2 45 3)

Vorrichtung C.

Oct. 17	15	15	55'	1 ^b 30' 4)
17	13	23	30	2 45
22	12	11	38	2 15 5)
17	17	18	32	2 6)
24	23	25	45	2 7)

Diefs ist die Gesamtheit der bis jetzt erhaltenen Resultate; ich habe sie sämmtlich mitgetheilt bis auf einige Reihen, die offenbar fehlerhaft waren, entweder durch zufällige Umstände oder weil Wolken verhinderten, eine hinlängliche Zahl von Beobachtungen zu machen.

Die Messungen wurden übrigens möglichst vervielfältigt (ihre Gesamtzahl steigt über 2000), damit die Mittelwerthe besser von allen Unsicherheitsquellen befreit seyen.

Bei den erhaltenen Zahlen ist Tag und mittlere Beobachtungsstunde angegeben; um sie direct vergleichbar zu machen, hätte man sie auf denselben Tag und dieselbe Stunde reduciren müssen. Dazu fehlte es mir bis jetzt an Zeit, allein man kann schon bis jetzt einige Folgerungen aus der Gesamtheit dieser Bestimmungen herleiten.

- 1) (Berechneter Ueberschuß, Mittags, Sonnenwende, 120' bis 140'.)
- 2) Spiegel des Heliostaten ersetzt durch ein total reflectirendes Prisma. Beobachtungen gemacht mit einem gelben Glase.
- 3) Dispersion der Farben - Ebenen compensirt durch eine Flasche mit Citronenöl.
- 4) (Berechneter Ueberschuß, Mittags, Sonnenwende, 50' bis 60'.)
- 5) und 6) Polarisationsazimut in einer ungünstigen Lage.
- 7) Andere Lage des Polarisationsazimut.

1. Die durch die geneigten Glassäulen bewirkten Drehungen der Polarisationssebene sind beständig größer, wenn der Apparat gen Westen, als wenn er gen Osten gerichtet ist, sobald die Beobachtung zur Mittagszeit gemacht wird.

2. Der beobachtete Ueberschufs der Drehung scheint entschieden um Mittag zur Zeit der Sonnenwende am größten zu seyn. Er ist vor und nach dieser Stunde kleiner, und um 4 Uhr wenig merklich.

3. Die aus den verschiedenen Beobachtungsreihen abgeleiteten Zahlenwerthe zeigen beträchtliche Unterschiede, deren Ursachen sich nur vermuthen, aber noch nicht mit Sicherheit angeben lassen.

4. Die Werthe dieses Drehungs-Ueberschusses, berechnet mittelst Schlufsfolgen, wodurch man suchte den Einfluss der Umlaufsbewegung der Erde zu berücksichtigen, stimmen ziemlich angenähert mit den meisten der aus der Beobachtung abgeleiteten Zahlen.

5. Durch Betrachtung und Erfahrung wird man dahin geführt, es als sehr wahrscheinlich anzunehmen, dafs das Polarisationsazimut des gebrochenen Strahls wirklich durch die Bewegung des brechenden Mittels abgeändert werde, und dafs die Umlaufsbewegung der Erde einen Einfluss dieser Art auf die Drehungen ausübe, welche geneigte Glassäulen im polarisirten Licht hervorbringen.

Diese Versuche sollen fortgesetzt werden mittelst eines schon in Arbeit genommenen Apparats, der so eingerichtet ist, dafs man sie in der ganzen Entwicklung, welche die Wichtigkeit des Gegenstandes erheischt, verfolgen kann.

XIX. Ueber die Versuche des Hrn. Fizeau, beobachtet unter dem Gesichtspunkt der Fortbewegung des Sonnensystems; von Hrn. Faye.

(Compt. rend. T. XLIX, p. 870.)

Die neueren Untersuchungen des Hrn. Fizeau ¹⁾ betreffen eine der interessantesten Fragen über das Weltgebäude zu nahe, als daß ich mich nicht verpflichtet fühlen sollte, sie mit Sorgfalt zu studiren. Ich wage zu hoffen, daß die Resultate dieser Prüfung die Aufmerksamkeit der Akademie und auch die des Verfassers verdienen werden.

Man ist zu folgenden Schlüssen berechtigt. Wenn die Versuche des Hrn. Fizeau wirklich die Genauigkeit besitzen, welche sie zu haben scheinen, so ist die Bewegung gegen das Sternbild des Hercules, welche die Astronomen dem Sonnensystem beilegen, nicht vorhanden. Wenn dagegen die astronomischen Bestimmungen dieser Bewegung gegründet sind, so muß man annehmen, daß die Versuche des gelehrten Physikers mit einem systematischen Fehler behaftet seyen oder seine Theorie irgend einen wichtigen Mangel einschliesse.

Folgendes ist der Gang, den ich eingeschlagen habe. Ich berechnete die Geschwindigkeit der Erde, gerichtet für einen bestimmten Augenblick nach der Linie Ost - West, mittelst der Formel:

$v \cos d \cos (\vartheta - 90^\circ - a) + V \cos D \cos (\vartheta - 90^\circ - A)$
welche zurückkommt auf

$$v \cos d \sin (\vartheta - a) + V \cos D \sin (\vartheta - A)$$

und in welcher bezeichnet: ϑ die Sternzeit der Beobachtung, v und V die Geschwindigkeiten der Erde in Folge ihres jährlichen Umlaufs und der Fortbewegung des Sonnensystems, endlich a und d , A und D Rectascension und Declination der Punkte, gegen welche diese Bewegungen in dem Augenblicke ϑ gerichtet sind. Von diesem Aus-

1) Die im vorhergehenden Aufsatz.

druck müßte man 300 Meter abziehen, wenn man die Geschwindigkeit der täglichen Rotation zu Paris in Rechnung ziehen wollte.

Die Werthe von v , ϑ , a und d ergeben sich leicht aus der *Connaissance des Temps*. Was V , A und D betrifft, so nehme ich die von HH. Otto Struve und Peters gegebenen Werthe, nämlich für 1859:

$$A = 259^{\circ} 45' \quad D = + 34^{\circ} 33' \quad V = 7894^{\text{mm}} \text{ pro Sek.}$$

Die hiernach berechnete Geschwindigkeit ist diejenige, mit welcher der Apparat des Beobachters in Richtung von West nach Ost vermöge wirklicher in der Astronomie bekannter Bewegungen begabt ist; und diese muß sich mit der Geschwindigkeit des Lichtes combiniren ¹⁾).

Zuvörderst mußte man durch die Versuche selbst die mittlere Ablenkung bestimmen, welche einer gegebenen Geschwindigkeit entspricht. Durch die Messungen gegen Mittag am 4. Juni, am 11., 12., 13. Juli und am 24. October ²⁾ fand ich sonach im Mittel 54,6 für 25500 Meter. Mit dieser Angabe jede Beobachtung wiederum berechnend, um die

1) Ich darf hier nicht voraussetzen lassen, daß der Verfasser dieser Versuche die Geschwindigkeit der Fortbewegung des Sonnensystems habe vernachlässigen wollen. Im Gegentheil war die Verification dieses Phänomens eine seiner vorzüglichsten Beschäftigungen vorher, wie es mehrere unserer Collegen wissen, welche die Entwürfe und Arbeiten des Verfassers kannten. Wenn er dennoch in den *Comptes rendus* nicht davon spricht, so rührt es daher, daß, seiner Ansicht nach, die Apparate noch nicht die nöthige Vollkommenheit besaßen, um Größen dieser Ordnung zur Evidenz zu bringen, deren Einfluss übrigens Mittags zur Zeit der Sonnenwenden fast Null ist. Allein selbst zur Zeit der Sonnenwenden äußert sich dieser Einfluss von Stunde zu Stunde in Folge der täglichen Bewegung und dies veranlaßte mich, wie man sehen wird, die um 4^h Abends angestellten Beobachtungen zu untersuchen.

2) Die Gründe zu dieser Wahl sind einfach. Indem ich die weitest abständigen Beobachtungen nahm, wollte ich mich überzeugen, ob die Angaben der Apparate sich mit der Zeit veränderten oder nicht. Ich nahm daher die äußersten Tage, welche zugleich den zahlreichsten Messungen entsprachen. Was die Beobachtungen um 4 Uhr betrifft, so begnügte ich mich mit denen, welche der Verfasser als mit besonderen Vorsichtsmaßregeln angestellt bezeichnete. Siehe die Anmerkung S. 173.

Uebereinstimmung des Mittelwerths mit den einzelnen Bestimmungen zu beurtheilen, bildete ich folgende Tafel.

Zeit	Geschwindigkeit Meter	Ablenkung		Unterschied
		berechnet	beobachtet	
4 Juni 0 ^h	30200	65'	60'	+ 5'
11 Juli 0 30'	25500	55	59	— 4
12 „ 1	23900	51	59	— 8
13 „ 0 30'	25300	54	50	+ 4
23 Oct. 2	22600	48	45	+ 3

Allein die Beobachtungen um 4 Uhr sind weit entfernt, mit denen um Mittag zu stimmen. Diefs erhellt aus der Berechnung derjenigen vom 11., 12. und 13. Juli, welche mit besonderer Sorgfalt angestellt wurden.

Zeit	Geschwindigkeit Meter	Ablenkung		Unterschied
		berechnet	beobachtet	
11 Juli 4 ^h	7600	16'	28'	— 12'
12 „ 4 ^h	7500	16	27	— 11
13 „ 4 ^h	7500	16	31	— 15

Offenbar herrscht hier irgend ein regelmässiger Einfluss, dessen Erklärung man aufsuchen muss. Die ausgeführten Rechnungen weisen es selber nach. Es ist das zweite Glied der Formel, welches die Geschwindigkeiten um 4 Uhr wenigstens um ein Drittel verringert; durch das erste Glied allein würden sie nur auf die Hälfte ihres Werthes zur Mittagszeit reducirt werden. Vernachlässigt man nämlich die Fortbewegung des Sonnensystems, die hier durch $V \cos D \sin (\vartheta - A)$ vorgestellt ist, so verschwindet die so auffallende Mifsstimmung, welche wir eben fanden, vollständig und die Beobachtungen zur Mittagszeit zeigen sogar eine grössere Uebereinstimmung. Verfährt man wie oben, so findet man, in diesem zweiten System, dass die aus der ersten Gruppe abgeleitete mittlere Ablenkung von 54',6 einer Geschwindigkeit von 28200 Meter pro Sekunde entspricht; darauf die einzelnen Beobachtungen wieder berechnend, erhält man folgende Tafel:

		Geschwindigkeit	Berechnung	Beobachtung	Unterschied
		Meter			
Um Mittag	{ 4 Juni	29400	57'	60'	— 3'
	{ 11 Juli	29400	57	59	— 2
	{ 12 „	28500	55	59	— 4
	{ 13 „	29400	57	50	+ 7
	{ 24 Oct.	24500	48	45	+ 3
Um 4 Uhr	{ 11 Juli	14100	27	28	— 1
	{ 12 „	14100	27	27	0
	{ 13 „	14000	27	31	— 4

Der Einklang ist vollständig; er giebt uns eine hohe Idee von der Genauigkeit, deren die Messungen des geschickten Physikers fähig sind ¹⁾, und von der Wichtigkeit der Folgerung, die man daraus ableiten kann; allein es geht auch daraus hervor, wie ich schon zu Anfange sagte, dafs die Bewegung der Erde schon allein eine Ablenkung bewirkt, und dafs der Einfluss der allgemeinen Bewegung des Sonnensystems vollständig verschwindet.

Es wäre für mich unmöglich, die Apparate und die Methode des Hrn. Fizeau zu beurtheilen; das ist Sache der physikalischen Section. Ich begnüge mich hier mit dem, was die Astronomen über die andere Seite der Frage sagen können, über die Fortbewegung des Sonnensystems.

Dafs das Sonnensystem gegen einen ziemlich gut bestimmten Punkt des Hercules wandere, läfst sich wohl nicht in Zweifel ziehen. Seit Herschel erst graphisch, dann durch den Calcül, aus den eigenen Bewegungen einiger Sterne eine genäherte Lage dieses Punktes abgeleitet hat, haben bedeutende Arbeiten, gegründet auf eine sehr grofse Anzahl aufs Gerathewohl in der ganzen Ausdehnung des

1) Zieht man die Beobachtung vom 16. Juni in Rechnung, welche den Einfluss eines constanten, von irgend einer instrumentellen Unvollkommenheit herrührenden und den Messungen mehrerer Tage anhaftenden Fehler scharf zu bestimmen erlaubt, so kann man sich überzeugen, dafs man durch die übrigen Beobachtungen um Mittag und um vier Uhr zu denselben Resultaten gelangen würde. Von 17 Messungen dieser letzten Classe schienen mir nur 4 eine Ausnahme zu machen, und eine dieser vier, die vom 14. Juli, mufs wahrscheinlich noch wegen der Aufzeichnung verworfen werden.

nördlichen Himmels genommener Sterne übereinstimmende Resultate gegeben, wie man aus folgender Tafel ersehen kann.

	<i>D</i>	<i>A</i>	
Herschel	(245° 52')	(49° 38')	durch die 36 Fundamentalsterne (berechnet)
Argelander	259 52'	32 29	durch 560 Sterne mit starker Selbstbewegung
Lundahl	257 54	28 49	durch noch 147 Sterne mehr
Otto Struve	261 22	37 36	durch 400 Doppelsterne
Peters	259 35	34 34	
Mädler	261 39	39 54	durch 2163 beliebige Sterne
Galloway } Plana }	260 11	36 54	durch 81 südliche Sterne.

Was bei dieser letzten Bestimmung am merkwürdigsten ist, ist nicht die Uebereinstimmung des südlichen Himmels mit dem nördlichen, sondern der Umstand, daß die von Hrn. Galloway angewandten Sterne (deren Berechnung von Hrn. Plana durchgesehen worden ist) von einem anderen Beobachter, Bradley, bestimmt worden sind.

Man weiß nämlich, daß der bewundernswürdige Catalog von Bradley allen diesen Berechnungen zur ersten Grundlage gedient hat ¹⁾, während die südlichen Sterne vor etwa einem Jahrhundert durch Lacaille am Cap der guten Hoffnung beobachtet wurden, wohin die Akademie diesen berühmten Astronomen gesandt hatte.

Offenbar muß die Bewegung des Sonnensystems wohl ausgesprochen seyn, um für sie immer fast dasselbe zu finden durch so viele mannichfaltige Combinationen von Sternen aller Größe, die in den verschiedensten Gegenden des Himmels und in sehr ungleichen Abständen liegen, von Sternen endlich, deren Mehrzahl von den geschicktesten Astronomen zu einem ganz anderen Zweck und an den ent-

1) Man muß die ersten Beobachtungen von Sir W. Herschel ausnehmen; diese beruhen auf etwa fünfzig durch Römer und Tobias Mayer beobachteten Sternen.

gegengesetztesten Punkten der Erde beobachtet wurde ¹⁾. Auch wird, als Hr. Otto Struve in einer von der K. Astronom. Gesellschaft zu London gekrönten Abhandlung die Gröſſe dieser Bewegung bestimmte, indem er zeigte, daß die Rectascensionen seiner vier hundert Doppelsterne übereinstimmend mit den Declinationen, unabweislich eine Correction dieser Ordnung forderten, sich Niemand über die angegebene Gröſſe gewundert haben; es handelte sich nämlich um eine jährliche Verschiebung des Systems, die, gesehen aus dem Abstände von Sternen zweiter Gröſſe, nicht mehr als $\frac{1}{4}$ Bogensekunde umfassen, und unsere Sonne unter die Sterne mit sehr gewöhnlicher Eigenbewegung versetzen würde.

Noch in diesem Jahre (1859) hat Hr. Airy in den *Notices of the R. Astronomical Society* eine gründliche Arbeit über denselben Gegenstand veröffentlicht, wobei er den Catalog von 1200 Sternen, die während 18 Jahre mit so vieler Sorgfalt auf der Sternwarte zu Greenwich beobachtet wurden, zum Grunde legt und einen ganz anderen Gang als seine Vorgänger einschlägt. Die Resultate dieser Arbeit sind:

$$A = 261^{\circ} 29'$$

$$D = + 24^{\circ} 44' - 143^{\circ} \times q$$

$$V = 1''.912 - 2''.90 \times q$$

Die Unbestimmte q (Ich lasse die auf eine kleine Unsicherheit der jährlichen Präcession bezüglichen Glieder fort) drückt den Effect der kleinen instrumentellen Fehler aus, mit denen die Bradley'schen Beobachtungen noch behaftet seyn können. Nach den Resultaten, die aus den südlichen Sternen Lacaille's abgeleitet sind, und nach der Art, wie dieser Einfluß auf die ältere Bestimmung der vorhergehenden Tafel wirken würde, läßt sich vermuthen, daß der Werth von q sehr klein ist. So würde denn der von Hrn.

1) Die Wichtigkeit dieser Bemerkungen wird man leicht einsehen, wenn man erwägt, daß der Himmel uns keineswegs ein absolut festes Schzeichen darbietet, und daß jegliche Bewegung zuletzt auf einen Stern oder eine Gruppe von Sternen bezogen wird.

Otto Struve bestimmte Werth ($0'',3392$) von V , den ich benutzte, eher vergrößert als verringert werden müssen.

Trotz dieser Beweggründe bin ich weit entfernt, mich gegen die Versuche des Hrn. Fizeau aussprechen zu wollen. Die Fortbewegung des Sonnensystems hat in der Astronomie durchaus nicht denselben Grad von Evidenz und Sicherheit wie die jährliche Bewegung der Erde. Und ich begnüge mich zu sagen, daß der Widerspruch, dessen Daseyn ich nachgewiesen habe, mir scheint den ausgezeichneten Physiker veranlassen zu müssen, seine Theorie und seine Apparate specielleren Prüfungen zu unterwerfen.

XX. Ueber einige Eigenschaften des Eises nahe bei seinem Schmelzpunkt; von Professor Forbes.

(Mitgetheilt vom Verf. aus d. *Proceed. of the Roy. Soc. of Edinburgh*.)

Während des letzten Märzmonats (1858) machte ich über die Eigenschaften des Eises nahe bei seinem Schmelzpunkt einige Versuche mit besonderer Rücksicht auf diejenigen, welche Hr. Faraday im »*Athenaeum and Literary Gazette*« für Juni 1850 veröffentlicht hat, und auf welche später durch Dr. Tyndall und Hrn. Hurley die Aufmerksamkeit in Bezug auf die Gletscher-Erscheinungen hingelenkt worden ist.

Hrn. Faraday's Hauptthatsache, welche später mit dem Namen »Wiedergefrieren« (*Regelation*) belegt worden ist, besteht darin, daß Eisstücke, dicht an einander gelegt, in einem Medium von über 32° F. zusammenfrieren, und daß auch Flanell unter denselben Umständen anscheinend durch Gefrieren dem Eise anhaftet.

1. Diese Beobachtungen habe ich bestätigt. Allein ich habe auch gefunden, daß Metalle am Eise festfrieren, wenn sie von diesem umgeben sind oder auf andere Weise ver-

hindert werden, Wärme zu reichlich durchzulassen. Als z. B. eine Säule von Schillingen in einem warmen Zimmer auf ein Stück Eis gelegt wurde, fand sich der unterste Schilling, nachdem er in das Eis gesunken war, festsitzend an demselben haftend.

2. Bloße *Berührung*, ohne *Druck*, ist hinreichend, diese Wirkung hervorzubringen. Zwei Eisplatten (*slabs of ice*), deren entsprechende Flächen leidlich eben gemacht worden, wurden in einem unbewohnten Zimmer mittelst eines horizontalen Glasstabes, der durch ein Loch in jeder Platte ging, vertical aufgehängt. Die Berührung der ebenen Flächen wurde durch zwei schwache Stücke einer Uhrfeder bewerkstelligt. Nach anderthalb Stunden war die Cohäsion so vollständig, daß als die Platten gewaltsam zerbrochen wurden, viele Stücke (von 20 Quadratzoll und mehr in Fläche) vereinigt blieben. Die Vereinigung schien ganz so vollkommen wie bei anderen Versuchen, wo ähnliche Flächen durch Gewichte zusammengepresst waren. Daraus schloß ich, daß die das »Wiedergefrieren« befördernde Wirkung des Drucks hauptsächlich oder alleinig von den größeren Contactflächen herrührt, die beim Formen (*moulding*) der Flächen an einander erhalten wird.

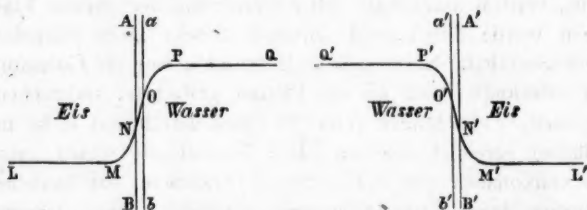
3. Starke Eismassen, die schon lange Zeit auf ungefrorenem Wasser eines Fasses geschwommen hatten oder vier Tage lang in einem thauenden Zustand erhalten worden, zeigten, rasch zerstoßen, eine Temperatur von $0^{\circ},3F.$ unter dem wahren Gefrierpunkt, und zwar an empfindlichen Quecksilber- und Weingeist-Thermometern, die durch langes Eintauchen in bedeutende Massen von zerstoßenem Eise oder Schnee in thauendem Zustand sorgfältig geprüft worden waren.

4. Wasser, welches man hatte in einem Cylinder von mehren Zoll Länge, mit der Kugel eines Thermometers in seiner Axe, sorgfältig gefrieren, und dann allmählich aufthauen oder eine bedeutende Zeit in zerstoßenem Eise bei der Thautemperatur liegen lassen, zeigte ebenfalls entschiedene

den eine Temperatur unter 32°F ., ich glaube nicht weniger als $0^{\circ},35\text{F}$.

Vorstehende Resultate sind, glaube ich, alle durch die Annahme erklärlich, dass Person's Ansicht von der allmählichen Liquefaction des Eises richtig ist ¹⁾, oder dass Eis allmählich latente Wärme absorbiert von einem Punkte ab, der sehr merklich niedriger ist als der Nullpunkt der Centesimalscale.

I. Dies erklärt die permanent niedrige Temperatur im Innern des Eises



Sey AB die Oberfläche eines Eisblocks in Wasser von der sogenannten Frosttemperatur. Diese Temperatur sey bezeichnet durch das Niveau der Linie QP über einem willkürlichen Nullpunkt. LM sey in gleicher Weise die permanente, aber etwas niedrigere Temperatur im Innern des Eises. Der theils aus Wasser, theils aus Eis bestehende Raum $MNOP$ hat eine von Punkt zu Punkt verschiedene Temperatur, wobei in dem Theile NO zwischen AB und ab , welcher der sogenannten physischen Oberfläche des Wassers entspricht, und aus „plastischem Eise“ oder „zähem (viscid) Wasser“ besteht, die schnellste Veränderung der örtlichen Temperatur stattfindet.

II. Ein solcher Temperaturzustand, obwohl in gewissem Sinne permanent, ist es nur durch eine Compensation der Effecte. Körper von verschiedener Temperatur können so nicht fortfahren ohne Interaction. Das Wasser *muss* Wärme an das Eis abgeben, allein es spendet sie nur in einem unbedeutenden Thau an der Oberfläche, welche daher ab-

1) *Compt. rendus*. 1850, Vol. XXX, p. 526.

schmilzt (wastes) selbst in Wasser, welches man eiskalt nennt oder die Temperatur einer von Eis eingeschlossenen Wassermasse hat ¹⁾.

Diese Abschmelzung (*waste*) ist noch zu beweisen, allein ich zweifle wenig an sie; denn sie wird bestätigt durch die abschmelzende Wirkung des auf der Oberfläche der Gletscher herabrinnenden Wassers, obwohl auch andere Umstände zu dieser Wirkung beitragen können.

III. Die Theorie erklärt das »Wiedergefrieren«. Denn es sey eine zweite Eisfläche *A'B'* beinahe in physischen Contact mit der ersteren *AB* gebracht. Dann hat man eine doppelte Schicht von »zähem Wasser« isolirt zwischen zwei kälteren Eisflächen. Das frühere Gleichgewicht ist nun zerstört. Die Schichten *ABba* und *A'B'ba'* werden durch die Wärme, welche ihnen das jenseitige vollkommne Wasser mittheilt, in einem flüssigen oder halbflüssigen Zustand erhalten. Diefs Wasser wird nun erneut und die besagte Schicht hat an beiden Seiten kälteres Eis. Sie giebt einen Theil ihrer sensiblen Wärme an die benachbarten, weniger warmen Schichten, und dadurch wird die intermediäre, im Uebergangszustand befindliche Wasserschicht zu mehr oder weniger vollkommnem Eise.

Selbst wenn die zweite Fläche nicht aus Eis bestände, wäre doch, sobald sie ein schlechter Leiter ist, der Effect theilweis derselbe. Denn der Wasserschicht würde einerseits

1) Ich neige zu dem Glauben, das Wasser unter diesen Umständen, obwohl von Eis umgeben, eine feste Temperatur haben könne, die höher ist als was man 32° F. nennt. Allein ich habe noch keine Gelegenheit gehabt, diese Vermuthung zu prüfen. — (Späterer Zusatz.) Meine Idee ist: das Eindringen der Kälte aus dem umgebenden Eise ein sehr allmähliches »Wiedergefrieren« des das Eis berührenden Wassers hervorbringt, und das dabei das Innere des Wassers im Besitz seiner vollen Dosis latenter Wärme und auch einer wenig über 32° F. hinausgehenden Temperatur bleibt. Nach einem ähnlichen Raisonnement, würde eine kleine Eismasse, die von einer größeren Wassermasse eingeschlossen ist, ihre eigene innere Temperatur unter 32° F. behalten; allein statt eines eintretenden Wiedergefrierens würde ihre Oberfläche allmählich abthauen. Diefs ist der betrachtete Fall in dem Paragraph des Textes.

durch das kältere Eis Wärme entzogen und die andere schlecht leitende Fläche könnte nicht Wärme genug liefern um das Wasser flüssig zu halten.

Diese Wirkung sieht man bei dem augenblicklichen Anfrieren eines Eisstücks an einen wollenen Handschuh, selbst auf der warmen Hand. Aber auch Metalle können so wirken, sobald sie nur durch Umgebung mit Eis an der Fortleitung von Wärme gehindert werden. So haften Metalle an schmelzendem Eise, wie gezeigt worden ist.

XXI. *Neue Methode, das Ozon zu erkennen und quantitativ zu bestimmen; von Hrn. A. Houzeau.*

Diese Methode ist schon vor längerer Zeit von Hrn. Houzeau beschrieben worden, in drei kleinen Aufsätzen, im *Annuaire de la Société météorologique de France*, T. V, und in den *Compt. rend.* T. XLV, p. 873 und T. XLVI, p. 89; sie ist deßungeachtet, wie es scheint, bei uns nicht sehr bekannt geworden, und somit dürfte ein kurzer Abriss von derselben, den wir auf Wunsch des Hrn. Verf. hier mittheilen, den Lesern nicht unwillkommen seyn.

Der Verf. hebt zunächst hervor, daß das gewöhnlich angewandte Reagens auf Ozon (*oxygène naissant*), das Jodkalium-Stärke-Papier, mancherlei Unsicherheiten mit sich führe. Denn: 1) Habe Feuchtigkeit einen großen Einfluss; trocknes Ozon färbt dieß Papier gar nicht, schwach feuchtes nur wenig und erst ganz feuchtes rasch und tief blau. 2) Ändere sich die Reaction nach der Dauer der Aussetzung des Papiers an die Luft und nach der Temperatur. 3) Sey die Färbung sehr unbeständig, indem z. B. Papier, welches durch Ozon oder freie atmosphärische Luft gefärbt worden, sich bei längerer Einwirkung des Ozons oder dieser Luft oder auch der Stubenluft, besonders bei Gegenwart von Feuchtigkeit, mehr oder weniger rasch wieder entfärbe.

4) Endlich, daß auch andere Stoffe z. B. Chlor, nitröse Verbindungen, Terpentinöl, ebenso färbend und nach längerer Zeit wieder entfärbend wirken.

Aus diesen Gründen verwirft er das genannte Reagens und schlägt statt dessen ein *schwach geröthetes, mit Jodkaliumlösung getränktes Lakmuspapier* vor. Diefes Papier hat die Eigenschaft, vom Ozon gebläut zu werden und zwar, wenn man das Ammoniak ausnimmt, nur allein vom Ozon, wogegen Chlor, Brom, Jod, nitröse Verbindungen, essigsäure Dämpfe, ätherische Oele u. s. w., seine weinrothe Farbe in eine mehr oder weniger gelbrothe verwandeln. Ammoniak bläut es zwar ebenfalls, aber diese Bläuung läßt sich von der durch Ozon leicht dadurch unterscheiden, daß sie auch bei einem gerötheten Lakmuspapier stattfindet, welches kein Jodkalium enthält.

Die Bläuung des genannten Papiers durch Ozon beruht auf Bildung von Kali aus dem Jodkalium, unter gleichzeitiger Ausscheidung von Jod, welches verfliegt. Der Hr. Verfasser hat sich durch besondere Versuche überzeugt, daß eine Lösung von Jodkalium in reinem Wasser, die man, geschützt vor Sonnenschein und Regen, längere Zeit der freien Luft aussetzt, alkalisch wird, und daß weder der gewöhnliche Sauerstoff, noch Kohlensäure, Stubenluft, oder die mit letzterer gemengten Staubtheilchen diese Reactionen hervorbringen.

Das Jodkalium muß aber zu diesem Behufe neutral seyn, und da das im Handel vorkommende immer schon alkalisch reagirt, so ist erforderlich es zuvor von dem überschüssigen Alkali zu befreien. Diefes geschieht am einfachsten, indem man es mit verdünnter Salzsäure neutralisirt und dann bei gelinder Wärme zur Trockne abdampft.

Auf diese Erfahrungen hat der Verfasser auch eine quantitative Methode zur Bestimmung des Ozons gegründet, wobei die Menge des letzteren in doppelter Weise durch die Menge des ausgeschiedenen Jods und durch die des gebildeten Kalis auf maassanalytischem Wege gefunden wird.

XXII. *Ein einfacher Regulator für elektrisches Licht; von E. Söchting.*

Der Gebrauch des elektrischen Lichtes hat sich in neuerer Zeit vielfach vermehrt und breitet sich immer mehr da aus, wo es sich darum handelt, größere Räume zu erhellen, ohne daß es dabei eben einer ganz gleichmäßigen Beleuchtung bedarf. So hat es namentlich in Frankreich und England bei Hafenbauten und andern derartigen ausgedehnten Arbeiten Anwendung gefunden. Dieselbe würde eine noch größere gewesen seyn, wenn nicht, aufser den mehr oder minder erheblichen Kosten und der umständlichen Behandlung der Batterien, besonders die Mittel zur Erhaltung einer gleichbleibenden Lichtstärke sehr viel zu wünschen übrig gelassen hätten. Doch dürfte es gelingen, letztere Hauptschwierigkeit wesentlich überwinden zu können durch die Benutzung eines einfachen Regulators, wie er in der Fabrik galvanischer Apparate und Batterien von Keiser und Schmidt in Berlin, Oranienburger-Straße No. 27, construirt wird, dessen Beschreibung mir von den HH. Keiser und Schmidt bereitwilligst verstattet worden ist.

Die Regulirung erfolgt selbstthätig durch den Kampf der Schwere einer Eisenstange gegen die Anziehung von Seiten zweier, durch den elektrischen Strom selbst inducirter Elektromagnete. Diese befinden sich senkrecht über einander an einer hölzernen Säule, welche ein mit Quecksilber gefülltes Rohr enthält. Ein darin senkrecht schwimmender Eisenstab steht in Verbindung mit der prismatischen, in Leithülsen vertical vor den Elektromagneten verschiebbaren Eisenstange, an deren untern Ende die eine Kohlenspitze eingeschraubt wird. Der eine Poldraht der Batterie endet in dem Quecksilber und verknüpft also diese mit der Stange, während eine Nebenleitung zu den Elektromagneten geht. Der andere Poldraht wird an zwei untern, transversal und vertical gegen die oberen stehende Elektromagnete befestigt,

über denen durch eine Spiralfeder ein Anker spielend erhalten wird. Durch zwei, die Verlängerung der Axen diese Elektromagnete bildende und den Anker durchbohrenden Schrauben vermag man, dem letztern, welcher die zweite Kohlenspitze trägt, eine solche Entfernung von den Elektromagneten zu geben, als die Brennweite der Kohlenspitzen betragen soll. Hiervon muß das untere Elektromagnetpaar schwächer seyn als das obere, sowie für dessen Stärke die Schwere der Eisenstange genau abgemessen seyn muß. Sobald der Strom eintritt, wird die Stange angezogen und festgehalten, bis die Entfernung der Kohlenspitzen durch die Verbrennung zunimmt, worauf die Stange so lange langsam niedergleitet, bis die Stromstärke wieder hergestellt ist, so daß die Kraft der Elektromagnete über das Sinkbestreben der Stange das Uebergewicht gewinnt, und bis diese in ihrer Abwärtsbewegung aufgehalten wird; so bleibt die Intensität des Lichtes gleich. Die untern Elektromagnete haben den besonderen Zweck, in Thätigkeit zu treten, sobald durch irgend einen Zufall im oberen Theile des Apparates eine Störung eintreten sollte, etwa eine wirkliche Berührung der Kohlenspitzen statt hätte, worauf, durch die Kraft jener, der die untere Spitze tragende Anker mit Ueberwindung der ihm wegdrückenden Feder angezogen und die Brennweite wieder hergestellt wird. Der Apparat ist auf seinem Fußgestelle um eine Axe drehbar, sowie außerdem ein hoch und tief und in verschiedene Neigung stellbarer Spiegel für die beliebige Richtung des Lichtes sorgt.

Zur Erhellung des den Fabrikräumen vorliegenden Hofes von etwa 15000 □Fuß Fläche ist eine Batterie von vierzig, 8" hohen Kohlen-Zink-Elementen aus der genannten Fabrik (welche reichliche Lieferungen an galvanischen Geräthen an viele Staats- und Privat-Telegraphenlinien ausführt) mehr als ausreichend. Durch einfache, abnehmbare Armirung sind die Elemente leicht unter einander zu verbinden, wie auch die Unterhaltungs- und Bedienungskosten derselben sehr mäßig sind, zumal wenn die Batterie in beständiger Aufstellung bleibt. Von dem Regulator, dessen

Preis 30 Thaler beträgt, ist bereits eine nicht unbeträchtliche Zahl abgegeben, da er für sehr zweckentsprechend anerkannt worden.

XXIII. Versuch einer theoretischen Berechnung der Wärme, welche bei Verbrennung flüchtiger organischer Verbindungen, entwickelt wird;
von Dr. A. E. Nordenskjöld.

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus d. *Oefversigt af K. Vetensk. Acad. Förhandl.* 1858.)

Kaum in einem Theile der Physik dürften so viele entweder gar nicht oder höchst unvollständig beantwortete Fragen die Aufmerksamkeit des Forschers in Anspruch nehmen als in der Lehre von der Wärme. Nur in sehr wenig Fällen ist es hier geglückt, die zahlreichen Beobachtungen unter ein allgemein gültiges Gesetz zu bringen, und die Gesetze, welche man bisher aufzustellen gesucht hat, haben selten den genaueren, in neuerer Zeit gemachten Beobachtungen auf eine befriedigende Weise entsprochen. Dafs solchergestalt die Bemühungen sehr ausgezeichneten Forscher nur mit geringem Erfolg gekrönt waren, rührt gewifs zum Theil von der Unsicherheit her, welche im Allgemeinen den der Wärmetheorie zum Grunde liegenden Beobachtungen anhaftet, aber noch mehr davon, dafs man selten Gelegenheit hat, eine Wärme-Erscheinung für sich allein zu beobachten und messen, sondern Umstände, welche der Haupterscheinung ganz fremd sind, einen sehr bedeutenden Einflufs sowohl auf deren Gröfse als auf deren Beschaffenheit ausüben. Um wenigstens den verwirrenden Einflufs, welchen die Krystallform, der mehr oder weniger fein vertheilte Zustand und die Porosität u. s. w. des untersuchten Stoffs ausübt, zu vermeiden, wäre es vielleicht am besten, bei hieher gehörigen Untersuchungen die Gesetze der Wärme-Erscheinungen zuerst bei Körpern im flüssigen Zustande zu ermitteln, um

so mehr, als die organische Chemie eine sehr große Anzahl flüssiger Verbindungen von wohl bekannter Zusammensetzung darbietet, welche sowohl in ihren chemischen als physikalischen Eigenschaften eine weit augenscheinlichere Regelmäßigkeit zeigen als die starren. Was speciell die chemische Wärme betrifft, d. h. die Wärme, welche bei Bildung oder Aufhebung chemischer Verbindungen entwickelt oder verbraucht wird, so muß man sich bei einem Versuch zur Ermittlung ihrer Gesetze bis weiteres hauptsächlich darauf beschränken, die Wärme-Erscheinungen, welche bei Verbrennung verschiedener Gase und Flüssigkeiten stattfinden, zu verallgemeinern. Man hat nämlich in Betreff der Wärme, welche bei sonstigen chemischen Processen entwickelt wird, in den meisten Fällen allzu wenige und mehrentheils schwach übereinstimmende Beobachtungen, als daß man hoffen könnte, sie schon unter ein gemeinsames Gesetz bringen zu können. Aus diesem Grunde habe ich mich bei dem nachstehenden Versuch zur theoretischen Berechnung der Verbrennungswärme darauf beschränkt, die Wärme zu betrachten, welche beim Oxydiren flüchtiger organischer Verbindungen entwickelt wird.

Eine vollkommen genaue Bestimmung der Wärmemenge, welche bei der Verbrennung eines Stoffs entwickelt wird, scheint im Allgemeinen mit sehr großen Schwierigkeiten verknüpft zu seyn, und deshalb weichen die von verschiedenen Beobachtern erhaltenen Werthe sehr bedeutend von einander ab.

Besonders findet man dieses, wenn man ältere, nach mangelhaften Methoden ausgeführte Beobachtungen vergleicht mit denen, die in neuerer Zeit mit vollkommeneren Hülfsmitteln angestellt sind. Aeltere Bestimmungen der Wärmemenge, die beim Verbrennen eines Stoffs entwickelt wird, weichen nämlich zuweilen 50 bis 100 Proc. von derjenigen ab, welche neuere Forscher erhalten haben; deshalb ist es bei einem Versuch, für die hierher gehörigen Erscheinungen ein Gesetz aufzustellen, durchaus nöthig, nur diese neueren Untersuchungen in Betracht zu ziehen.

Man hat oft die bei der Verbrennung eines Körpers in Sauerstoff entwickelte Wärme als proportional der Menge des verbrauchten Sauerstoffs ansehen gewollt; allein die vorhandenen Beobachtungen können durch diese Annahme nicht befriedigend erklärt werden, und daß dieselbe auch theoretisch nicht richtig ist, scheint folgende Betrachtung zu beweisen.

Wenn ein Stoff A mit einem Stoff B eine Verbindung $(A+B)$ eingeht, so scheint es, daß die Wärmemenge, welche A enthält (oder richtiger die mechanische Arbeit, welche die Moleküle von A bei ihren Wärmevibrationen verrichten) zusammen mit der Wärmemenge, welche B enthält, und vermindert um die in $(A+B)$ enthaltene Wärmemenge, gleich seyn müsse der Wärmemenge, welche bei der chemischen Vereinigung entwickelt oder gebunden wird, d. h. wenn man bezeichnet mit W die chemische Wärme, mit $w(A)$, $w(B)$ und $w(A+B)$ die in A , B , und $(A+B)$ enthaltene Wärme, daß:

$$W = w(A) + w(B) - w(A+B).$$

Nimmt man an, es bezeichne A einen Stoff, der sich mit Sauerstoff (B) verbindet, so findet man aus obigem Ausdruck für W , daß ein Glied desselben proportional ist, der zur Verbrennung dienenden Sauerstoffmenge, keineswegs aber die gesammte Verbrennungswärme. In den Ausdruck für die Verbrennungswärme müssen vielmehr auch andere, von dem verbrennenden Stoff und den Verbrennungsproducten abhängige Glieder eingehen.

Ein Molekül $C_\alpha H_\beta O_\gamma$ giebt bei vollständiger Verbrennung mit $(2\alpha + \beta - \gamma)$ Molekülen O , α Moleküle CO_2 , und β Moleküle HO . Wenn man also die Wärmemenge, welche ein Molekül von O , CO_2 , HO und $C_\alpha H_\beta O_\gamma$ enthält, mit $w(O)$ ¹⁾, $w(CO_2)$ ¹⁾, $w(HO)$ ¹⁾ und $w(C_\alpha H_\beta O_\gamma)$ be-

- 1) In diese Constanten tritt natürlicherweise auch die Wärme, welche verbraucht wird, wenn die zuvor in einen flüssigen Stoff eingegangenen Moleküle von C gasförmig (in CO_2) werden, auch die Wärme, welche hinzugefügt werden muß, wenn ein Theil zuvor gasförmiger Moleküle von O zusammen mit H ein flüssiges Verbrennungsproduct bilden.

zeichnet, so erhält man für die bei Verbrennung eines Molecüls $C_\alpha H_\beta O_\gamma$ entwickelte Wärmemenge:

$$W = (2\alpha + \beta - \gamma)w(O) + w(C_\alpha H_\beta O_\gamma) - \alpha w(CO_2) - \beta w(HO)$$

$w(C_\alpha H_\beta O_\gamma)$ müßte eine Function der Molecularconstanten des verbrannten Stoffes seyn. Wäre diese Function bekannt, so würde es ganz leicht seyn, aus der auf experimentellem Wege festgestellten Verbrennungswärme einer gewissen Anzahl von Stoffen den Werth von $w(CO_2)$, $w(O)$ und $w(HO)$ zu berechnen, und man würde also im Stande seyn, für andere analoge Verbindungen die bei ihrer Verbrennung entwickelte Wärmemenge im Voraus zu berechnen. Wiewohl es nun, für jetzt wenigstens, nicht möglich ist, die Function $w(C_\alpha H_\beta O_\gamma)$ theoretisch zu entwickeln, so würde man doch, wenn man versuchte, wie nahe, bei verschiedenen Annahmen in dieser Hinsicht, die theoretisch berechnete Verbrennungswärme einer größeren Anzahl von Stoffen übereinstimme mit den unmittelbaren Beobachtungen, sich diesen mehr oder weniger nähern können.

Unter den Annahmen, welche ich in Betreff der Form dieser Function gemacht habe, entspricht den Beobachtungen am besten die:

$$w(C_\alpha H_\beta O_\gamma) = C \frac{M}{S} \quad 1)$$

oder

$$W = (2\alpha + \beta - \gamma)w(O) + C \frac{M}{S} - \alpha w(CO_2) - \beta w(HO)$$

Aus dem specifischen Gewichte und der Verbrennungswärme verschiedener Alkoholarten, organischer Säuren und einfachen oder zusammengesetzten Aetherarten erhält man:

Wenn $M(H) = 1$	Wenn $M(O) = 1$
$C = 6946$	$C = 6946$
$w(O) = 58544$	$w(O) = 7318$
$w(CO_2) = 94856$	$w(CO_2) = 11857$
$w(HO) = 65480$	$w(HO) = 5185$

und die Verbrennungswärme einer zum Typus $\overset{H}{H} \overset{H}{O}$ gehörigen Flüssigkeit wird also:

- 1) Wie gewöhnlich bezeichuet hier M das Moleculargewicht und S das spec. Gewicht von $C_\alpha H_\beta O_\gamma$.

wenn man das Moleculargewicht des Wasserstoffs gleich Eins setzt:

$$W = 58544 (2\alpha + \beta - \gamma) + 6946 \frac{M}{S} - 94856 \alpha - 65480 \beta$$

wenn man das Moleculargewicht des Sauerstoffs gleich Eins setzt:

$$W = 7318 (2\alpha + \beta - \gamma) + 6946 \frac{M}{S} - 11857 \alpha - 8185 \beta$$

Folgende Tafel zeigt, wie nahe die nach diesen Formeln berechnete Verbrennungswärme übereinstimmt mit der direct beobachteten:

	Spec. Gew. bei 0°	Moleculare Verbrennungswärme ¹⁾				Unterschied pro Cent
		M (H) = 1		M (O) = 1		
		berechn.	beob.	berechn.	beob.	
Aethyläther	0,7366	689206 {	668042	86151 {	83505	+ 3,2
"	0,7596 ²⁾	668083 {		83510 {		+ 0,0
Amyläther	0,7854 ²⁾	1572293	1609704	196535	201213	- 2,3
Methylalkohol	0,8175	171520	169827	21440	21228	+ 1,0
Aethylalkohol	0,8095	324927	330446	40616	42306	- 4,0
Amylalkohol	0,8275	760652 {	788357	95081 {	98543 {	- 3,5
"	0,8095 ²⁾	777055 {		97134 {		- 1,4
Ameisensäure	1,2227	57734	95786 ³⁾	7217	11973 ³⁾	+ 1,2
Essigsäure	1,0801	212559	210312	26607	26289	+ 1,9
Buttersäure	0,9886	506479	496936	63310	62117	+ 0,5
Valeriansäure	0,9555	660263	656778	82533	82097	+ 0,5
Ameisensäur. Methyl	0,9984	244434	251844	30554	31480	+ 2,9
Essigsaur. "	0,9562	395139	395308	49392	49414	- 0,0

Amiensaur. Aethyl	0,9447	401689	390631	50211	48829	+ 2,8
Essigaur.	0,9105	559513	553758	69939	69220	+ 1,0
"	0,9293 4)	545925		68216		- 1,4
Buttersaur. Methyl	0,9210	688038	693447	86005	86681	- 0,8
"	0,9115 4)	696051		87006		+ 0,4
Buttersaur. Aethyl	0,9041	840565	822544	105071	102818	+ 2,2
Valeriansaur. Methyl	0,9015	843134	855570	105392	106946	- 1,5
" Aethyl	0,8829	1002695	1018537	123337	127317	- 1,6
Essigaur. Amyl	0,8837	1001778	1036256	125222	129532	- 3,3
Valeriansaur. Amyl	0,8793	1430432	1469499	177804	183686	- 2,7
"	0,8679	1448288		181036		- 1,4

1) Nach den Bestimmungen von Favre und Silbermann. Des leichtesten Vergleiches wegen sind die Angaben dieser Forscher, welche sich auf Gewichtseinheiten beziehen, multiplicirt mit dem Moleculargewicht, und die obigen Zahlen geben demnach an, wie viel Wärme von einem Molecul Aether, Alkohol, Essigsäure u. s. w. entwickelt wird.

2) Theoretisch berechnet nach der Formel $\frac{M}{s^3} = \frac{m}{s^3} + \frac{m'}{s^3}$. Die übrigen hier angenommenen specifischen Gewichte gründen sich meistens auf Kopp's Bestimmungen.

3) Sollte diese Bestimmung der Verbrennungswärme der Ameisensäure richtig seyn, so würde dieselbe bei ihrer Verbrennung mit der gleichen Menge Sauerstoff mehr Wärme entwickeln als irgend eine andere organische Verbindung, ja sogar mehr als der Wasserstoff.

4) Theoretisch berechnet.

Erwägt man die mit einer vollkommen genauen Bestimmung der Verbrennungswärme verknüpften Schwierigkeiten, die bis zu 2 und 3 Proc. gehende Unsicherheit in den spec. Gewichten der meisten Verbrennungsstoffe und endlich die Unmöglichkeit, zwei Flüssigkeiten durch abgebrochene Destillation vollständig von einander zu trennen, so wird man zugeben, daß die obigen theoretisch berechneten Werthe der Verbrennungswärme ziemlich befriedigend mit den unmittelbar beobachteten übereinstimmen. Die vorstehende *allgemeine* Formel für die Verbrennungswärme scheint also grofse Wahrscheinlichkeit für sich zu haben. Natürlicherweise kann jedoch die auf empirischem Wege gefundene Form, welche hier für die Function $w(C_\alpha H_\beta O_\gamma)$ angenommen wurde, blofs auf eine approximative Gültigkeit Anspruch machen.

XXIV. Eine Sonnenfleckbeobachtung.

(Aus einem Schreiben des Hrn. Sabine an Prof. Dove.)

— Als Hr. Carrington am Vormittage des 1. Sept. v. J. beschäftigt war, seine täglichen Beobachtungen über die Gestalt und Lage der Sonnenflecke zu machen, sah er zu seinem Erstaunen aus der Mitte des grofsen Flecks, welcher schon einige Tage lang Gegenstand allgemeiner Aufmerksamkeit gewesen, ein intensiv helles und weifses Licht hervorbrechen, welches viel heller als die übrige Sonnenfläche war. Es dauerte etwas länger als fünf Minuten, und nach seinem Verschwinden schien der grofse Fleck unverändert zu seyn. Das Phänomen wurde auch von Hrn. Hodgson zu Highgate gesehen, einige engl. Meilen von Redhill, der Sternwarte des Hrn. Carrington. Beide Beobachter kommen darin überein, die Zeit des Erscheinens und Verschwindens, angenähert richtig bis auf einige Sekunden, auf 11^h18'

und 11^h 23' Greenw. mittl. Zeit festzustellen. Einige Tage darauf hatte Hr. Carrington Gelegenheit das meteorolog. Observatorium zu Kew zu besuchen, und, von dem Phänomene sprechend, die photographischen Aufzeichnungen zu untersuchen, die dort von den drei magnetischen Elementen gemacht werden. In jeder derselben sah er eine sehr große Störung, die so weit er beurtheilen konnte, gleichzeitig mit der in der Photosphäre der Sonne beobachteten Erscheinung stattfand. Diefs, glaube ich, ist das erste Beispiel eines Zusammenhangs zwischen den physischen Veränderungen der Photosphäre der Sonne und den von mir i. J. 1852 nachgewiesenen magnetischen Stürmen oder Störungen¹⁾.

XXV. *Zur Theorie der Sinusbussole. Aus einem Briefe von Hrn. Prof. Dr. Pierre.*

— In dem mir eben zugekommenen Novemberhefte Ihrer Annalen lese ich eine Notiz meines Collegen Hrn. Prof. Matzka: »Zur Theorie der Sinusbussole« die nicht nur nichts Neues, sondern nur einen speciellen Fall eines allen mathematischen Physikern bekannten, allgemeinen Theorems enthält.

Die bekannten Ausdrücke für die rechtwinklichen Componenten der magnetischen Stromkraft:

$$X = Km J \int \frac{1}{r^2} \left((y - \eta) \frac{\partial \xi}{\partial s} - (z - \zeta) \frac{\partial \eta}{\partial s} \right) \partial s$$

$$Y = Km J \int \frac{1}{r^2} \left((z - \zeta) \frac{\partial \xi}{\partial s} - (x - \xi) \frac{\partial \zeta}{\partial s} \right) \partial s$$

$$Z = Km J \int \frac{1}{r^2} \left((x - \xi) \frac{\partial \eta}{\partial s} - (y - \eta) \frac{\partial \xi}{\partial s} \right) \partial s,$$

welche für jede, nicht blofs für eine ebene Stromcurve gelten, lassen nämlich auf den ersten Blick erkennen, dafs

1) Vergl. Ann. Bd. 88, S. 568.

wenn die magnetische Masse m dieselbe Stellung gegen ein mit der Stromcurve in unveränderlicher Verbindung gedachtes Coordinatenaxen-System behält, auch die obigen Integrale einerlei Werthe behalten ¹⁾, somit X , Y und Z einfach der Stromstärke I proportional bleiben, woraus alles Uebrige auf die einfachste Weise folgt.

Im 50. Bande Ihrer Annalen haben Ew. Wohlgeboren bei Aufzählung der Vorzüge Ihrer Sinusbussole im Vergleiche mit jener von Pouillet das eben citirte Theorem als bekannt vorausgesetzt, so dafs es zur Rechtfertigung meiner Eingangs gemachten Behauptung genügen dürfte, auf die betreffenden Stellen Ihres Aufsatzes hinzuweisen.

Da ich Hrn. Prof. Matzka bereits vor mehreren Monaten darauf aufmerksam machte, dafs das was er gefunden zu haben glaubte nicht neu, und in Poggendorff's Sinusbussole längst zur praktischen Anwendung gekommen sey, bin ich durch seine im Novemberhefte dafsungeachtet erschienene Mittheilung einigermafsen überrascht worden.

Prag d. 16. Nov. 1859.

1) Wie man auch immer die Coordinat-Axen im Raume stellen möge.